Einführung in die Röntgen-Photographie

VON DR. PHIL. JOHN EGGERT
A. O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

DRITTE AUFLAGE 1928

EINFÜHRUNG
IN DIE
RÖNTGEN-PHOTOGRAPHIE

VON

DR. PHIL. JOHN EGGERT
A. O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

DRITTE AUFLAGE 1928

VORWORT.

Der Zweck des Büchleins ist, wie schon im Vorwort zur 1. Auflage (1922) ausgesprochen wurde, „den Leser in das Gebiet der Röntgenphotographie einzuführen, indem es nach einer kurzen Darlegung der Theorie des Verfahrens alles für die Praxis Wissenswerte berichtet". Die neuen theoretischen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen der letzten Jahre erforderten eine gründliche Um- und Durcharbeitung des Stoffes, an der die Herren Dr. Haelßig, Dr. Limpach und Dr. Urban sich beteiligten, wofür ich ihnen an dieser Stelle meinen Dank ausdrücke. Ebenso darf ich auch einer Reihe von Röntgenologen danken, die so liebenswürdig waren, mir für den Anhang einige interessante Aufnahmen zur Verfügung zu stellen.

Der Umfang des behandelten Gebietes ist bedeutend erweitert, auch gegen die 1923 erschienene zweite Auflage, so daß das Büchlein sich auch äußerlich stark vergrößert hat. In den praktischen Teil ist einiges aus der „Anleitung für die photographische Behandlung des Röntgenfilms" von Dr. F. W. Petersen übernommen.

Zwei Anlagen, eine Expositionstabelle und die „Regeln für die Röntgen-Dunkelkammer" sind zum Aushang in den betr. Arbeitsräumen bestimmt.

Berlin, Januar 1928.

J. EGGERT.

INHALTS-VERZEICHNIS

Sitzungs-Berichte

der

Physikalisch-medicinischen Gesellschaft

zu

WÜRZBURG.

Jahrgang 1895.	Der Abonnementspreis pro Jahrgang beträgt *M* 4.—. Die Nummern werden einzeln nicht abgegeben. Grössere Beiträge erscheinen in Sonderdrucken.	No. 9.

Verlag der **Stahel**'schen k. Hof- und Universitäts-Buch- und Kunsthandlung in **Würzburg**.

Am 28. Dezember wurde als Beitrag eingereicht:

W. C. Röntgen: Ueber eine neue Art von Strahlen.

(Vorläufige Mittheilung.)

1. Lässt man durch eine *Hittorf*'sche Vacuumröhre, oder einen genügend evacuirten *Lenard*'schen, *Crookes*'schen oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines grösseren *Ruhmkorff*'s gehen und bedeckt die Röhre mit einem ziemlich eng anliegenden Mantel aus dünnem, schwarzem Carton, so sieht man in dem vollständig verdunkelten Zimmer einen in die Nähe des Apparates gebrachten, mit Bariumplatincyanür angestrichenen Papierschirm bei jeder Entladung hell aufleuchten, fluoresciren, gleichgültig ob die angestrichene oder die andere Seite des Schirmes dem Entladungsapparat zugewendet ist. Die Fluorescenz ist noch in 2 m Entfernung vom Apparat bemerkbar.

Man überzeugt sich leicht, dass die Ursache der Fluorescenz vom Entladungsapparat und von keiner anderen Stelle der Leitung ausgeht.

2. Das an dieser Erscheinung zunächst Auffallende ist, dass durch die schwarze Cartonhülse, welche keine sichtbaren oder ultravioletten Strahlen des Sonnen- oder des elektrischen Bogenlichtes durchlässt, ein Agens hindurchgeht, das im Stande ist, lebhafte Fluorescenz zu erzeugen, und man wird deshalb wohl zuerst untersuchen, ob auch andere Körper diese Eigenschaft besitzen.

Man findet bald, dass alle Körper für dasselbe durchlässig sind, aber in sehr verschiedenem Grade. Einige Beispiele führe ich an. Papier ist sehr durchlässig:[1]) hinter einem eingebun-

[1]) Mit „Durchlässigkeit" eines Körpers bezeichne ich das Verhältniss der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper gehaltenen Fluorescenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welcher dieser unter denselben Verhältnissen aber ohne Zwischenschaltung des Körpers zeigt.

denen Buch von ca. 1000 Seiten sah ich den Fluorescenzschirm noch deutlich leuchten; die Druckerschwärze bietet kein merkliches Hinderniss. Ebenso zeigte sich Fluorescenz hinter einem doppelten Whistspiel; eine einzelne Karte zwischen Apparat und Schirm gehalten macht sich dem Auge fast gar nicht bemerkbar. — Auch ein einfaches Blatt Stanniol ist kaum wahrzunehmen; erst nachdem mehrere Lagen über einander gelegt sind, sieht man ihren Schatten deutlich auf dem Schirm. — Dicke Holzblöcke sind noch durchlässig; zwei bis drei cm dicke Bretter aus Tannenholz absorbiren nur sehr wenig. — Eine ca. 15 mm dicke Aluminiumschicht schwächte die Wirkung recht beträchtlich, war aber nicht im Stande, die Fluorescenz ganz zum Verschwinden zu bringen — Mehrere cm dicke Hartgummischeiben lassen noch Strahlen[1]) hindurch. — Glasplatten gleicher Dicke verhalten sich verschieden, je nachdem sie bleihaltig sind (Flintglas) oder nicht; erstere sind viel weniger durchlässig als letztere. — Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand. — Wasser, Schwefelkohlenstoff und verschiedene andere Flüssigkeiten erweisen sich in Glimmergefässen untersucht als sehr durchlässig. — Dass Wasserstoff wesentlich durchlässiger wäre als Luft habe ich nicht finden können. — Hinter Platten aus Kupfer, resp. Silber, Blei, Gold, Platin ist die Fluorescenz noch deutlich zu erkennen, doch nur dann, wenn die Plattendicke nicht zu bedeutend ist. Platin von 0,2 mm Dicke ist noch durchlässig; die Silber- und Kupferplatten können schon stärker sein. Blei in 1.5 mm Dicke ist so gut wie undurchlässig und wurde deshalb häufig wegen dieser Eigenschaft verwendet. — Ein Holzstab mit quadratischem Querschnitt (20 × 20 mm), dessen eine Seite mit Bleifarbe weiss angestrichen ist, verhält sich verschieden, je nachdem er zwischen Apparat und Schirm gehalten wird; fast vollständig wirkungslos, wenn die X-Strahlen parallel der angestrichenen Seite durchgehen, entwirft der Stab einen dunklen Schatten, wenn die Strahlen die Anstrichfarbe durchsetzen müssen. — In eine ähnliche Reihe, wie die Metalle, lassen sich ihre Salze, fest oder in Lösung, in Bezug auf ihre Durchlässigkeit ordnen

Die Fluorescenz des Bariumplatincyanürs ist nicht die einzige erkennbare Wirkung der X-Strahlen. Zunächst ist zu erwähnen, dass auch andere Körper fluoresciren; so z. B. die als Phosphore bekannten Calciumverbindungen, dann Uranglas, gewöhnliches Glas, Kalkspath, Steinsalz etc.

Von besondererer Bedeutung in mancher Hinsicht ist die Thatsache, dass photographische Trockenplatten sich als empfindlich für die X-Strahlen erwiesen haben. Man ist im Stande manche Erscheinung zu fixiren, wodurch Täuschungen leichter ausgeschlossen werden; und ich habe, wo es irgend anging, jede wichtigere Beobachtung, die ich mit dem Auge am Fluorescenzschirm machte, durch eine photographische Aufnahme controllirt.

[1]) Der Kürze halber möchte ich den Ausdruck „Strahlen" und zwar zur Unterscheidung von anderen den Namen „X-Strahlen" gebrauchen. Vergl. u. p. 140.

A. THEORETISCHER TEIL

Zu dem Gebiet, das uns im folgenden beschäftigen soll, dürfte es keine geeignetere Einführung geben als die Abhandlung, in der *W. C. Röntgen* das erstemal über seine Entdeckung öffentlich berichtete. Schon aus den ersten Seiten dieser über drei Jahrzehnte alten Publikation, nach der das vorstehende Faksimile hergestellt ist, lernen wir die wichtigsten Eigenschaften der Röntgenstrahlung kennen:

1. Ihre Entstehung in Entladungsröhren, die mit hochgespannten Strömen betrieben werden;
2. ihre Fähigkeit, die Materie zu durchdringen, und zwar um so eher, je geringer die Dichte der durchstrahlten Substanz ist;
3. ihre Eigenschaft, gewisse Substanzen, wie Baryumplatincyanür, zum Leuchten (zur Fluoreszenz) anzuregen;
4. ihre Wirkungsweise auf photographische Schichten;
5. ihre weittragende Bedeutung für Zwecke der medizinischen Diagnose, besonders im Verein mit dem photographischen Prozeß. „Man ist imstande, manche Erscheinung zu fixieren, wodurch Täuschungen leichter ausgeschlossen werden".

I. Die Entstehung und die Natur der Röntgenstrahlen

Die Gasentladungen

Wenn man an die Elektroden A (Anode) und K (Kathode) der mit Luft von Atmosphärendruck gefüllten Glasröhre in Abb. 1 eine genügend hohe Gleichstromspannung anlegt, so geht die Elektrizität je nach der Natur der Stromquelle in Form aufeinanderfolgender Funken (Influenzmaschine) oder eines zusammenhängenden Lichtbogens (Hochspannungsbatterie) über. Wird mit Hilfe des Ansatzes B der Gasdruck im Innern der Röhre stetig vermindert, so ändert die Entladung kontinuierlich ihr Aussehen. Die Röhre erscheint anfänglich ziemlich gleichmäßig mit leuchtendem Gas erfüllt, sodann erkennt man Dunkelräume in der Umgebung der Elektroden, und Schichten von leuchtenden Gasen treten auf, schließlich verschwinden diese Lichterscheinungen, und statt dessen beginnt (etwa bei einem Druck von 0,01 bis 0,001 mm Quecksilber) die Glaswand des Rohres ein grünliches Fluoreszenzlicht auszusenden, dessen Ursache die im Rohr jetzt auftretenden „Kathodenstrahlen" sind.

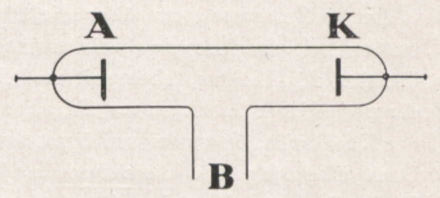


Abb. 1. Schema einer Entladungsröhre

Die Kathodenstrahlen

Oberhalb eines Gasdrucks von 0,01 mm Quecksilber findet die Leitung der Elektrizität durch elektrisch geladene Gasmolekeln und -atome statt, die man Gasionen nennt. Mit weiter vermindertem Druck erfolgt der Transport der Ladungen zunehmend durch die Elektrizität selbst. Dann treten nämlich aus der Kathode freie Elektrizitätsatome, Elektronen genannt, heraus, die durch das Innere des Rohres zur Anode fliegen. Treffen diese Elektronen, aus denen die Kathodenstrahlen bestehen, auf die Glaswand des Gefäßes, so werden sie gebremst; dabei geht die Energie der Elektronen auf das Glas über, und dieses wird neben der erwähnten sichtbaren Fluoreszenzstrahlung Ausgangspunkt einer neuen unsichtbaren Strahlenart, die nach ihrem Entdecker Röntgenstrahlung heißt.

Die Röntgenstrahlen

In diesem Falle treten die Röntgenstrahlen nur zum sehr geringen Teil aus der Röhre heraus, weil sie unmittelbar nach ihrer Entstehung von der Glaswand wieder absorbiert werden. Diese Art von Röntgenstrahlen nennt man, infolge ihrer leichten Absorbierbarkeit, „sehr weich", die Strahlung wird energiereicher, „härter", wenn man die Elektronen durch Materialien abbremsen läßt, die dichter sind als das Glas, etwa durch Platin oder Wolfram. Durch eine derartige Anordnung erhält die Entladungsröhre das in Abb. 2 gezeigte Aussehen. K stellt wieder die Kathode, A die Anode und X den Entstehungsort der Röntgenstrahlung dar, den man als Antikathode bezeichnet. — Durch die wachsende Verwendung der Röntgenstrahlen zu medizinischen Zwekken hat die Röntgenröhre, sowie auch die Apparatur zur Herstellung der hochgespannten Ströme mancherlei Umwandlungen und Verbesserungen erfahren. Hierauf werden wir im praktischen Teil näher einzugehen haben. Im folgenden soll uns das Wesen der Strahlung zunächst rein theoretisch beschäftigen.

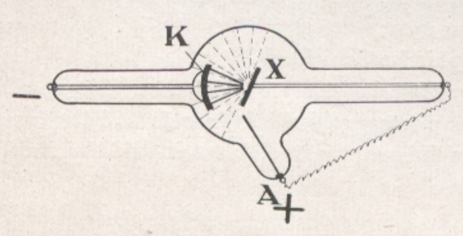


Abb. 2. Ursprüngliche Form der Röntgenröhre

Die Natur der Röntgenstrahlen

Lange Zeit war man über die Natur der Röntgenstrahlen nur unsicher unterrichtet und faßte sie als elektromagnetische Impulse, also als Strahlung von der Art des Lichtes, aber mit undefinierter Wellenlänge, auf. Um eine oft ausgesprochene Analogie zu zitieren: man vergleicht den Röntgenstrahl mit der Knallwelle, die von einer Mauer ausgeht, wenn ein Geschoß in sie einschlägt. Dem Einschlag des Geschosses und der dadurch verursachten akustischen Stoßwelle entspricht also der Aufprall der Elektronen und der elektromagnetische Impuls. Qualitativ besteht dieses Gleichnis auch heute noch zu Recht, nur weiß man seit der Entdeckung der Interferenz der Röntgenstrahlen durch *von Laue*, *Friedrich* und *Knipping*, ferner durch die Arbeiten von *Bragg*, *Debye* und *Scherrer* u. a., daß die Röntgenstrahlung ihr wohldefiniertes Spektrum besitzt.

Das Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlen

So ist nunmehr sichergestellt, daß die Röntgenstrahlen zu den elektromagnetischen Strahlen gehören und, wenn wir das Gesamtspektrum derselben betrachten, fast am Ende dieser Reihe am kurzwelligen Ende stehen (Tab. 1).

Tabelle 1

Das Gesamtspektrum der elektromagnetischen Wellen mit ihren Wellenlängen.

Strahlenart	Wellenlänge
Drahtlose Telegraphie und Radiowellen	über 100 m
Hertzsche Wellen	100 m bis 1 m
Langwelliges Ultrarot	1 mm bis 0,01 mm (1000 μ bis 10 μ)
Kurzwelliges Ultrarot (Wärmestrahlen)..	10 μ bis 0,7 μ (10000 mμ bis 700 mμ)
Sichtbares Licht	700 mμ bis 400 mμ
Langwelliges Ultraviolett	400 mμ bis 100 mμ
Kurzwelliges Ultraviolett	100 mμ bis 1 mμ (1000 Å bis 10 Å)
Langwellige Röntgenstrahlen	10 Å bis 0,5 Å
Diagnostische Röntgenstrahlen	0,5 bis 0,3 Å
Therapeutische Röntgenstrahlen	um 0,2 Å
γ-Strahlung radioaktiver Stoffe	unter 0,1 Å
Durchdringende Höhenstrahlung	um 0,001 Å

Zeichenerklärung:

1 μ = 1 Mikron = $^1/_{1000}$ Millimeter (mm)
1 mμ = 1 Millimikron = $^1/_{1000}$ Mikron
1 Å = 1 Ångström-Einheit = $^1/_{10}$ Millimikron = $^1/_{100\,000\,000}$ cm

Die typische Form eines Röntgenspektrums, wie es an der Antikathode entsteht, zeigt Abb. 3. Hierin ist die Energie-(Intensitäts-)verteilung im Röntgenspektrum einer Wolframantikathode bei 50 Kilovolt (= kV) Belastung in Abhängigkeit von der Wellenlänge in Ångström-Einheiten angegeben. Man erkennt zwei Absätze in dem ausgezogenen Kurvenzug: auf einem hügelartigen Bogen (Brems- oder kontinuierliches Spektrum) erheben sich scharf

Das Röntgenspektrum

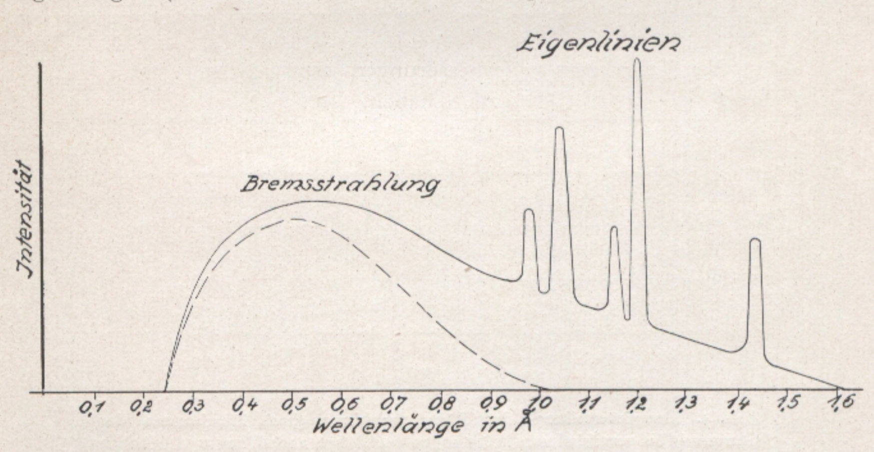


Abb. 3. Energieverteilung im Röntgenspektrum einer Wolfram-Antikathode bei 50 Kilovolt Belastung
——— Ungeschwächte Strahlung (im Innern der Röhre)
- - - - - - Strahlung nach Durchsetzen der Glaswand

abgegrenzte Spitzen (Eigen- oder charakteristisches Spektrum). Das Bremsspektrum ist allen Röntgenspektren, also allen Strahlungen gemeinsam, die

von Röntgenröhren hergestellt werden; die Lage der Eigenlinien ist von der Art des Antikathodenmaterials abhängig. Man erkennt somit, daß sich die Strahlung im allgemeinen über ein ziemlich großes Wellenlängengebiet erstreckt. Es ähnelt einem Sonnenspektrum mit hellen *Fraunhofer*schen Linien.

Der Einfluß der Röhrenwand

Von diesem Spektrum kommt indessen nur ein Teil zur Wirkung — sowohl bei diagnostischer wie therapeutischer Verwendung der Röhre. Denn je langwelliger die Strahlung ist, desto stärker wird sie, wie wir bereits auf Seite 8 sahen, von der Glaswand der Röhre absorbiert. In Wirklichkeit gewinnt man also aus der Röhre lediglich ein Strahlengemisch von der Energieverteilung der punktierten Kurve (Abb. 3).

Das Gebiet der harten und weichen Röntgenstrahlen

Dieses Strahlengemisch ist in seiner Wirksamkeit durchaus nicht gleichartig. Man unterscheidet in ihm den „harten" Anteil um 0,3 Å gelegen, den „mittelharten" um 0,4 Å und den „weichen" um 0,5 Å. Durch die Belastung der Röhre hat man es, wie Abb. 4 zeigt, in gewissen Grenzen in der Hand, den

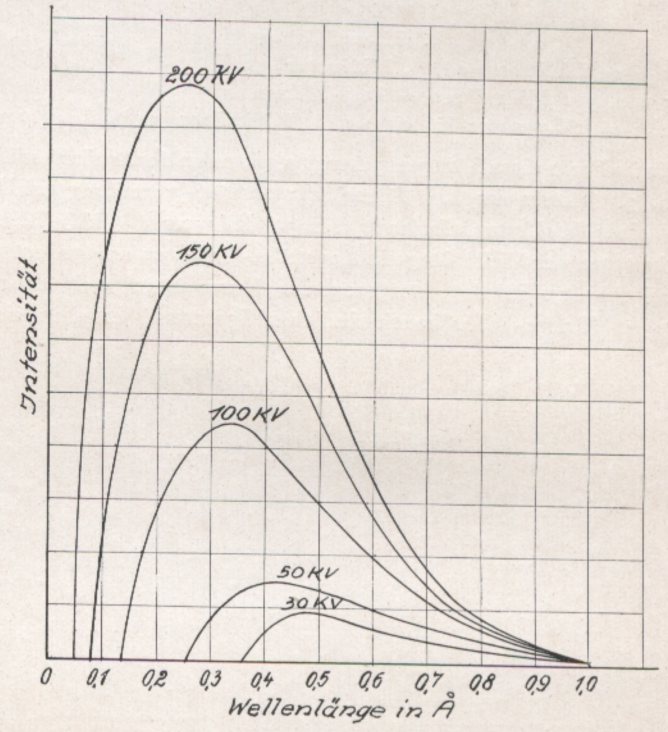


Abb. 4. Energieverteilung der Röntgenstrahlung (nach Durchsetzen der Glaswand) bei verschiedenen Belastungen der Röhre nach Ulrey und Behnken

Gehalt der Röntgenstrahlung an harter oder weicher Strahlung zu regulieren. Bei 40—45 kV besteht die Strahlung vorwiegend aus der weichen, bei 45—55 kV aus der mittelharten, bei über 55 kV aus der harten Komponente.

Erwähnt sei noch, daß die angegebene Bezeichnung der Sprechweise entlehnt wurde, wie sie bei der diagnostischen Anwendung der Röntgenstrahlen gebräuchlich ist. In der Röntgentherapie arbeitet man mit noch härteren Strahlungsgemischen, wie dies auch in Tabelle I zum Ausdruck gebracht wurde.

Die Messung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen

Über die exakte Bestimmung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen sei kurz das Folgende berichtet: Wie bei der optischen Spektroskopie beruht die Methode darauf, daß ein Röntgenstrahl eine Ablenkung erfährt, die in einer bestimmten Weise von der Wellenlänge abhängig ist und sich bequem messen läßt. Die Ablenkung des Strahles durch Brechung (Prisma), also auch die Möglichkeit, ihn durch ein Linsensystem zu sammeln, kommt nicht in Betracht, da die Röntgenstrahlen nicht brechbar sind, sondern die Materie geradlinig durchsetzen. Nur ein ganz geringer Anteil der Strahlung erfährt eine Ablenkung, und zwar infolge von Beugung, ein Effekt, den *von Laue* unter Verwendung eines Kristalls an den Röntgenstrahlen entdeckte. Der Kristall wirkt wie ein räumliches Beugungsgitter, also ähnlich wie die in der Optik verwendeten Strich- oder Flächengitter. Um die Strahlung einer Röhre hinsichtlich der Wellenlänge zu bestimmen, benutzt man nach *Bragg* die in Abb. 5 dargestellte Einrichtung. A ist die Antikathode, von der das divergente Röntgenstrahlbündel ausgeht. Aus diesem wird mit Hilfe des Bleispaltes B, der eine gewisse Tiefe haben muß, um ein praktisch paralleles Bündel auszuschneiden, ein Röntgenstrahl abgesondert, der bei c auf die Vorderfläche des sich um c als Achse senkrecht zur Papierebene langsam drehenden Kristalls C fällt und von dort bei der Drehung nacheinander nach d, e, f usw. reflektiert wird (dabei muß bc = cd angeordnet sein). Diese Spiegelung, bei der zwar wie gewöhnlich $\alpha = \varepsilon$ ist, ist keine eigentliche Reflektion, sondern nur ein Beugungs-Interferenz-Phänomen, das der gleichen Gesetzmäßigkeit gehorcht, aber, ein bestimmtes α vorausgesetzt, nur immer für eine bestimmte Wellenlänge gilt. Auf dem Film DE entsteht also bei d, e, f usw. das Spektrum der von A ausgehenden Strahlung, bei dem man deutlich auf grauem Grunde (kontinuierliches Bremsspektrum) die scharfen schwarzen Linien (Eigenspektren des Materials bei A) erkennt (vgl. nochmals Abb. 3). Aus den Abmessungen der Einrichtung (a, Länge von bc, Abstand der Punkte d, e, f vom Durchstoßpunkt a) ermittelt man leicht die Wellenlänge der Strahlung. Es sei nochmals betont, daß nur ein äußerst geringer Bruchteil der Strahlung vom drehenden Kristall „abgeglänzt" wird, die Hauptmenge geht wie gewöhnlich geradewegs nach a, dem Durchstoßpunkt der Strahlung, wo sich ein stark geschwärztes Bild des Spaltes B abzeichnet. — Abb. 52 und 53 zeigen ein Röntgendiagramm, das nach einer etwas anderen Methode (*Debye und Scherrer*) hergestellt ist und die Spektrallinien der Röntgenstrahlen zu Kreisbögen verzerrt zeigt, die Methode dient zur Aufklärung der Kristallstruktur fester Körper. Im praktischen Teil finden sich einige Typen von Röntgenspektrographen, die nach dem soeben angegebenen Prinzip arbeiten. (Abb. 49, 50, 51, S. 51 und 52.)

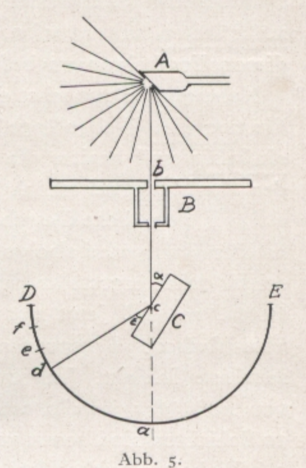


Abb. 5.
Anordnung für die Messung von Röntgenstrahl-Wellenlängen nach Bragg

II. Die Schwächung der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Materie

Der unschätzbare Wert der Röntgenstrahlen für diagnostische Zwecke beruht auf ihrer Fähigkeit, gewisse Stoffe, die für Licht undurchlässig sind, nahezu ungehindert durchsetzen zu können. Bei anderen Substanzen findet dagegen eine merkliche Verminderung der Strahlung statt. Während z. B. bei der normalen Röntgenaufnahme einer Hand das Fleisch nur schwach in Erscheinung tritt, weil es relativ durchlässig ist, zeichnen sich die Knochen mit allen ihren Einzelheiten deutlich ab, da die Knochensubstanz die Röntgenstrahlen stärker schwächt.

Die Schwächungsgesetze

Es hat sich nun gezeigt, daß alle Stoffe auf die Röntgenstrahlen eine Schwächung ausüben, und zwar ist die Schwächung ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten unterworfen. Die nachfolgenden Betrachtungen sollen sich mit diesen Erscheinungen befassen.

Der Einfluß der Schichtdicke

Nehmen wir zunächst einmal an, wir hätten eine Röntgenstrahlung vor uns, die nur eine Wellenlänge enthält; optisch gesprochen sei die Strahlung also einfarbig und besitze die Wellenlänge 0,5 Å (vgl. Tabelle 1). Die Intensität der Strahlung sei gleich 100 Einheiten gesetzt. Fällt nun diese Strahlung auf eine 1 cm dicke Gewebeschicht, so werden 60% der Strahlung durchgelassen, die Strahlung wird also von der Schicht um 40% geschwächt. Eine zweite ebensolche dahintergestellte Schicht läßt von diesem Betrage wieder 60% hindurchtreten, so daß jetzt nur noch 36% von der ursprünglichen Strahlung 100 übrigbleiben. Entsprechend verhält sich eine dritte, vierte, . . ., zehnte eingeschaltete Schicht. Jedesmal tritt eine Schwächung um den gleichen Bruchteil von 40% der jeweils auftreffenden Strahlung ein; nach Durchstrahlen von 10 Schichten sind somit von den anfänglichen 100 Intensitätseinheiten nur noch

1. Gesetz

0,6 Einheiten vorhanden. Aus diesen Tatsachen folgt als erstes Gesetz: Die Schwächung der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie ist abhängig von der Dicke der durchstrahlten Schicht, und zwar wird monochromatische (einfarbige) Strahlung von jedem Zentimeter Schichtdicke stets um den gleichen Bruchteil geschwächt.

Der Einfluß der Wellenlänge

Wir wollen nun, zweitens, dazu übergehen, an Stelle der bisher verwendeten Strahlung von 0,5 Å eine härtere von 0,3 Å zu untersuchen. Auch hier gilt das soeben ausgesprochene Gesetz, jedoch mit dem Unterschiede, daß die Schwächung pro Zentimeter Schichtdicke nicht 40%, sondern nur 25% beträgt. Jetzt bleiben also nach Durchstrahlung von 1 cm Gewebe von der ursprünglichen Strahlenintensität (100) nicht bloß 60%, sondern 75% übrig, und bei zehn Schichten nicht bloß 0,6%, sondern 6%. Wählen wir andererseits die sehr weiche Strahlung von 0,8 Å, so sind von 100 anfänglichen Intensitätseinheiten bei einer Schicht nur 25 und bei zehn Schichten sogar nur noch

2. Gesetz

0,0002 vorhanden. Aus diesem Verhalten folgt als zweites Gesetz: Die Schwächung der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie ist in hohem Maße von der Wellenlänge der verwendeten Strahlung abhängig,

und zwar ist die Schwächung bei weichen Strahlen unverhältnismäßig viel stärker als bei harten Strahlen.

Drittens wollen wir die Frage aufwerfen, wie sich die Verhältnisse ändern, wenn wir an Stelle der bisher betrachteten Gewebeschichten (die in ihren Eigenschaften weitgehend dem Wasser ähneln) eine entsprechende Schicht aus Knochensubstanz untersuchen; da hier, im Gegensatz zu den vorigen Beispielen, eine einwandfreie Analogie zur Praxis schwer zu ziehen ist, weil die verschiedenen Knochenteile des lebenden Organismus eine sehr verschiedene Zusammensetzung aufweisen, wollen wir der Betrachtung trockene, hohlraumfreie Knochensubstanz zugrunde legen. Wir wählen wieder eine Schicht von 1 cm Dicke und eine Strahlung 0,5 Å. Während die gleiche Schicht aus Gewebesubstanz 60% der Strahlung durchläßt, finden wir hier nur 3%, also ganz erheblich weniger. Dies entspricht der Erfahrung, daß Knochen im Röntgenbilde undurchlässiger erscheinen als Fett- oder Muskelgewebe. Wir folgern also das dritte Gesetz: Die Schwächung der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie ist abhängig von der Art der durchstrahlten Substanz, und zwar ist die Schwächung um so ausgeprägter, je größer die Dichte der Substanz ist (exakt: je größer die Dichte der Substanz ist und je höher die Ordnungszahlen der in ihr enthaltenen Atome sind).

Der Einfluß der durchstrahlten Substanz

3. Gesetz

Aus den bisher aufgestellten Sätzen läßt sich eine weitere wichtige Folgerung für die Anwendung der Röntgenstrahlen zu diagnostischen Zwecken ziehen. Wie schon angegeben, betragen die Röntgenstrahlen-Intensitäten hinter einer Muskelgewebe- und einer Knochenschicht, beide von 1 cm Dicke, bei gleicher ursprünglicher Intensität (100): 60% und 3%. Hinter der Gewebeschicht ist also 20mal mehr Strahlung als hinter der Knochenschicht. Diese Zahl bezieht sich indessen nur auf die Wellenlänge von 0,5 Å (monochromatische Strahlung!) Die genannte Verhältniszahl, die wir den Strahlenkontrast nennen wollen, ändert sich natürlich, sobald wir zu anderen Wellenlängen übergehen. Obgleich z. B. im harten Gebiet von 0,3 Å (nach Satz 3) in beiden Fällen mehr Strahlen durchgelassen werden, nämlich 75% vom Gewebe, 37% vom Knochen, nimmt der Strahlenkontrast: 75 dividiert durch 37 = 2 gegenüber vorher (bei 0,5 Å: Strahlenkontrast = 20) erheblich ab. Im sehr weichen Gebiet (0,8 Å) nimmt der Strahlenkontrast umgekehrt gewaltig zu, obwohl von jeder Schicht (nach Satz 3) einzeln sehr viel weniger Röntgenstrahlen durchgelassen werden (Gewebe 25%, Knochen 0,0006%, Strahlenkontrast: 40000!) Wir folgern somit aus diesen Tatsachen das vierte Gesetz: Der beim Durchgang durch verschiedene, nebeneinander befindliche Substanzen auftretende Strahlenkontrast hinter der durchleuchteten Schicht ist in hohem Maße von der Wellenlänge der verwendeten Strahlung abhängig; der Strahlenkontrast ist groß bei weicher, klein bei harter Strahlung.

Die Größe des Strahlenkontrastes

4. Gesetz

Wir fassen die bisher gewonnenen Ergebnisse noch einmal zusammen, indem wir eine tabellarische Übersicht von den mitgeteilten Zahlen geben:

Tabelle 2

Strahlungsmenge in %, die von verschiedenen Schichten bei verschiedenen Wellenlängen durchgelassen wird.

Schicht	0,3 Å (hart)	0,5 Å (weich)	0,8 A (sehr weich)
1. 1 cm Gewebe	75	60	25
2. 10 cm Gewebe	6	0,7	0,0002
3. 1 cm Knochen	37	3	0,0006
Strahlenkontrast zwischen Schicht 1 und 3	$\frac{75}{37} = 2$	$\frac{60}{3} = 20$	$\frac{25}{0,0006} = 40000$

Es sei nochmals betont, daß diese Werte sich auf monochromatische Röntgenstrahlen beziehen und daß unter „Knochen" trockene, hohlraumfreie Knochensubstanz zu verstehen ist.

Die Natur der Schwächung

Bisher haben wir beim Durchgang der Röntgenstrahlung durch Materie nur ganz allgemein von „Schwächung" gesprochen, aber noch nicht näher erörtert, worin die Schwächung besteht. Dieser Frage wollen wir uns jetzt zuwenden.

Wie schon *Röntgen* erkannte, wird die Strahlung durch die Materie auf zweierlei Weise geschwächt: 1. durch Absorption, 2. durch Streuung. Das Wesen dieser beiden Vorgänge sei an folgendem, der Optik entlehnten Beispiel erörtert:

Analogon aus der Optik

Läßt man weißes Licht durch einen Glastrog mit planparallelen Wänden fallen, in dem sich die klar durchsichtige Lösung eines schwarzen Farbstoffes befindet, so wird man je nach der Stärke der Anfärbung eine mehr oder weniger starke Schwächung des ursprünglichen Lichtes beobachten. In diesem Falle beruht die Schwächung ausschließlich auf Absorption, wenn man von der (meist geringen) Reflexion absieht, die an den Glaswänden stattfindet. Bei der Absorption wird also ein Teil der ankommenden Strahlung von der Schicht verschluckt und in Wärme verwandelt, der Rest geht unverändert hindurch. Bringt man nun in die Farbstofflösung außerdem noch eine trübe, gelöste Substanz, z. B. einige Tropfen Milch, so beobachtet man eine Zunahme der bereits vorhandenen Schwächung, die nicht auf Absorption beruht. Diese neue Schwächung rührt daher, daß das Licht jetzt nicht mehr geradlinig durch die Lösung laufen kann, sondern infolge des zugesetzten Trübungsmittels alle möglichen Zickzackwege in der Flüssigkeit einschlagen muß. Dadurch wird ein Teil der auffallenden Strahlung auch nach anderen Richtungen verstreut, und um diesen Bruchteil erscheint das vorher durchfallende Licht jetzt schwächer. Gleichzeitig erscheint die Glaskuvette als diffus selbstleuchtender Körper.

Die Absorption

Die Streuung

Ganz ähnliche Vorgänge spielen sich ab, wenn Röntgenstrahlung durch Materie tritt: Ein Teil der auffallenden Strahlung wird durch Absorption vernichtet und entweder in Wärme übergeführt oder zu chemischen Wirkungen ausgenutzt (photographische und biologische Wirkung der Röntgenstrahlung). Ein anderer Teil erfährt nur eine Richtungsänderung, die man allgemein als Streuung bezeichnet.

In beiden Fällen, bei sichtbarem Licht wie bei Röntgenstrahlung, ist also die Schwächung, die die Strahlung beim Durchgang durch Materie erfährt, aus Absorption und aus Streuung zusammengesetzt. Dementsprechend beziehen sich die genannten vier Gesetze auch gemeinsam auf Absorption und Streuung. Freilich ist der Einfluß der beiden Erscheinungen auf die Gesamtschwächung der Strahlung nicht einfach additiv; man darf also die bisweilen aufgestellte Formel:

$$\text{Schwächung} = \text{Absorption} + \text{Streuung}$$

höchstens symbolisch auffassen.

Da es uns zu weit führen würde, den wahren Zusammenhang der genannten drei Größen zu erörtern, mag es genügen, zwei für die Praxis wichtige Tatsachen über die Eigenschaften der Streustrahlung hervorzuheben:

1. Den Einfluß der Schichtdicke auf die Größe der Streuung.
2. Den Einfluß der Wellenlänge auf das gegenseitige Verhältnis von absorbierter und gestreuter Energie bei konstanter Gesamtabschwächung.

Streuung und Schichtdicke

5. Gesetz

Der Einfluß der Schichtdicke auf die Menge der gestreuten Strahlung läßt sich am einfachsten in Form eines (fünften) Gesetzes angeben, das eine Erweiterung des früheren ersten Gesetzes (S. 12) darstellt. Die Streuung der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie ist abhängig von der Dicke der durchstrahlten Schicht, und zwar verwandelt jedes Zentimeter Schichtdicke — ziemlich unabhängig von der Wellenlänge — den gleichen Bruchteil der jeweils auftreffenden Strahlung in gestreute Strahlung.

Der Zusammenhang zwischen Absorption und Streuung

Danach ist der Vorgang der reinen Streuung, eine bestimmte Schichtdicke vorausgesetzt, von der Wellenlänge der Strahlung unabhängig, während andererseits die reine Absorption von der Wellenlänge in so hohem Maße abhängt, daß beide Größen zusammen — als Schwächung betrachtet im Sinne des zweiten Gesetzes — von der Strahlenhärte erheblich beeinflußt werden. Infolge dieses verschiedenen Verhaltens von Streuung und Absorption kommt es sehr auf die Wellenlänge an, welcher Anteil einer bestimmten durch Schwächung veränderten Energiemenge auf absorbierte, und welcher Anteil auf gestreute Energie entfällt. Dieser Zusammenhang geht aus der Abb. 6 hervor. Als absorbierendes Medium ist wieder, wie vorher, Gewebesubstanz (Wasser) gewählt. Ferner ist die Annahme gemacht, daß bei den angegebenen Wellenlängen stets 100 Energieeinheiten von der Schicht durch Absorption und Streuung

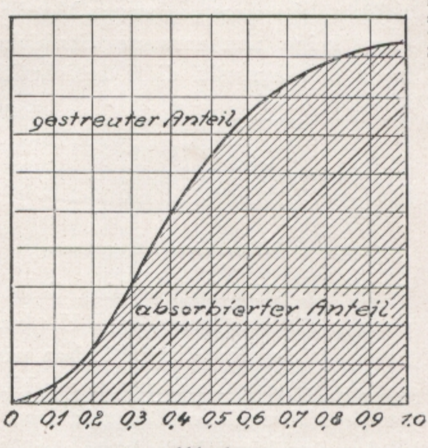


Abb. 6.
Gestreuter und absorbierter Anteil der Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge für Wasser oder menschliches Gewebe in Prozenten der Gesamtschwächung (nach Küstner)

verändert werden. Die ursprüngliche Energie vor dem Eindringen in die schwächende Schicht soll also jetzt (im Gegensatz zu den früheren Beispielen) größer als 100, etwa 1000 sein. Dementsprechend ist auch bei jeder Wellenlänge eine andere Schichtdicke vorauszusetzen, denn, damit die ursprüngliche Strahlenenergie (1000 Einheiten) immer um 100 Einheiten geschwächt wird, muß die Gewebeschichtdicke im Sinne der Sätze 1, 2 und 5 mit steigender Wellenlänge abnehmen. Tragen wir nun die durch die Schwächung veränderten 100 Energieeinheiten derart als Funktion der Wellenlänge auf, daß die immer gleiche Energie 100 in die zugehörigen Anteile an absorbierter und gestreuter Energie zerlegt erscheint, so ergibt sich die Abb. 6. Man erkennt: Bei sehr harter Strahlung (0,1 Å) besteht die Gesamtschwächung nur zum sehr geringen Teil aus Absorption (5%) und im übrigen (95%) aus Streuung; bei sehr weicher Strahlung (1 Å) kehren sich die Verhältnisse gerade um.

6. Gesetz

Wir können also als sechstes Gesetz den Satz aussprechen: Das Wesen der Schwächung ist von der Wellenlänge der Röntgenstrahlung abhängig, da harte Strahlung von der durchstrahlten Materie mehr gestreut als absorbiert, weiche Strahlung dagegen mehr absorbiert als gestreut wird.

Drei Anwendungen

Alle diese Erkenntnisse sind für die praktische Verwendung der Röntgenstrahlen von der größten Bedeutung, was wir an den nachfolgenden drei wichtigen Anwendungen erkennen, die sich aus unseren theoretischen Überlegungen unmittelbar ergeben.

Die Härtemesser

Der erste Punkt betrifft die Verwendung absorbierender Schichten zur Beurteilung der Strahlenhärte. Aus dem ersten Gesetz folgt ohne weiteres, daß die Wellenlänge einer monochromatischen Strahlung prinzipiell an derjenigen Schichtdicke eines geeigneten Metallkeils erkannt werden kann, bei der gerade eben keine nennenswerte Strahlenenergie mehr durchgelassen wird; für harte Strahlen wird diese Schichtdicke groß, bei weichen klein sein. In der Tat bedienen sich die (älteren) Härtemesser für Röntgenstrahlen (nach *Wehnelt*, *Benoist* u. a.) einer Anordnung, wie sie in Abb. 7 abgebildet ist; die eben noch ablesbare Zahl des Apparates bestimmt den Härtegrad der Strahlung.

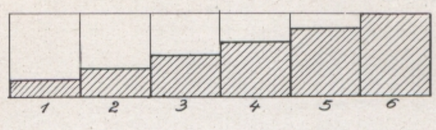


Abb. 7. Schema eines Härtemessers

Allerdings arbeitet dieses Verfahren nicht streng, denn die Voraussetzung für eine zuverlässige Härtemessung nach diesem Prinzip ist die Einfarbigkeit der Strahlung. Haben wir dagegen — und das ist praktisch stets der Fall — ein Gemisch von Strahlung verschiedener Wellenlänge vor uns, so ist diese Methode irreführend; denn die weiche Strahlung wird im Verhältnis stärker absorbiert als die harte, das Gemisch ist also nach Durchgang durch den Härtemesser an harter Strahlung reicher als vorher. Sicher beurteilt man die Strahlenhärte an den in Abb. 4 gegebenen Kurven, die gleichzeitig das Mischungsverhältnis der einzelnen Strahlenarten angeben, oder an dem Befund der früher angegebenen spektrographischen Methode.

Die zweite Folgerung aus unseren gegenwärtigen Betrachtungen betrifft die Röntgenphotographie. Ganz allgemein läßt sich zunächst sagen, daß die photo-

graphische Schicht durch die Röntgenstrahlen nur dann belichtet erscheint, wenn von der Schicht eine bestimmte Strahlenmenge aufgenommen (absorbiert) wurde. Also nur die absorbierte Energie löst den photographischen Prozeß aus, während die durch die Schicht hindurchgegangene Energie wirkungslos ist. Andererseits kann man die Schicht durch vorgesetzte Bleiplatten vor der Belichtung schützen, da das Blei in genügend dicker Schicht nach dem dritten Gesetz selbst harte Strahlung praktisch vollständig zurückhält.

Absorption, Streuung, Kontrast und Röntgenphotographie

Fragen wir uns nun ferner, wovon die für die Belichtung der photographischen Schicht erforderliche Strahlenmenge und wovon die Qualität des erhaltenen Bildes abhängt, so ergibt sich nach den Aussagen der aufgestellten Gesetze folgendes:

Weiche Strahlung wird von dem aufzunehmenden Objekt stärker geschwächt als harte. Bei Weichstrahlaufnahmen gelangt daher — unter vergleichbaren Bedingungen — weniger Energie auf die hinter dem Objekt befindliche photographische Schicht, als bei Hartstrahlaufnahmen, eine Tatsache, die in den kürzeren Belichtungszeiten der Hartstrahlaufnahmen gegenüber Weichstrahlaufnahmen unter sonst gleichen Verhältnissen zum Ausdruck kommt. In entsprechendem Gegensatz zueinander stehen die Bildqualitäten der beiden Aufnahmeverfahren: Weiche Strahlung liefert beim Durchgang durch das zu untersuchende Objekt große Strahlenkontraste (Tab. 2) und die auf die photographische Schicht gelangende Strahlung enthält wenig Streustrahlung (Abb. 6). Harte Strahlung liefert dagegen geringere Strahlenkontraste und enthält viel Streustrahlung. Bei Weichstrahlaufnahmen erhält man daher unter vergleichbaren Bedingungen kontrastreiche Bilder in langer Zeit, bei Hartstrahlaufnahmen kontrastarme, durch die Streustrahlung verschleierte, aber dafür kurzfristig herstellbare Bilder.

Die Beseitigung der Streustrahlung

Die dritte wichtige Folgerung aus unseren Überlegungen bezieht sich auf die Beseitigung der Streustrahlung.

Wie schon betont, wirkt die Streustrahlung sowohl bei Durchleuchtungen als auch besonders bei Aufnahmen ungemein störend, da sie die Abstufungen in den Kontrasten verringert. Es ist daher eine der wichtigsten Aufgaben, die Streustrahlung auszuschalten. Dies geschieht einmal dadurch, daß man Tubus und Kompressionsblenden anwendet, die, wie noch näher erörtert werden wird, dazu dienen, die vor der zu untersuchenden Körperstelle lagernden Weichteile (z. B. des Bauches bei Nierenaufnahmen) zusammen zu pressen und beiseite zu drücken. Dadurch wird die Menge der sekundärstrahlenerregenden Gewebsubstanz auf ein Minimum herabgesetzt.

Die Tubusblende

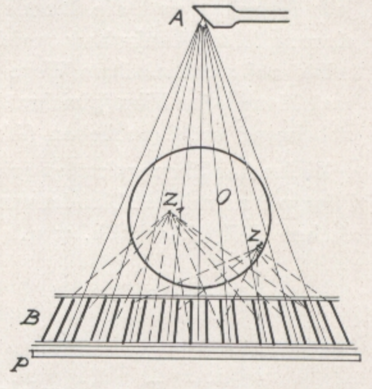


Abb. 8.
Wirkungsweise der Streustrahlblende (Abb. 9 u. 10)
A = Antikathode
O = Objekt
Z = Objektpunkte
B = Bucky-Blende
P = Platte
ausgezogen: Primäre Strahlung
punktiert: Sekundäre, vom Objekt ausgehende Strahlung

Die Lamellenblende

Der wirksamste Schutz gegen die Sekundärstrahlung wird indessen, wie *Bucky* zeigte, dadurch erreicht, daß man zwischen Objekt und photographische Schicht (oder Durchleuchtungsschirm) ein Blendensystem einschaltet, das alle nicht radial von der Antikathode verlaufenden (also aus dem Objekt stammenden) Strahlen abfängt. Wie man an der schematischen Abb. 8 erkennt, gelangen die von der Antikathode A kommenden (ausgezogenen) Strahlen durch die Lamellen der Blende B direkt zur Schicht S, während die von den Sekundärstrahlenzentren Z_1 und Z_2 des Objektes ausgesandten (gestrichelten) Strahlen von den Lamellen absorbiert werden. (Ebenso wie Z_1 und Z_2 wirken natürlich alle übrigen Punkte des Objektes).

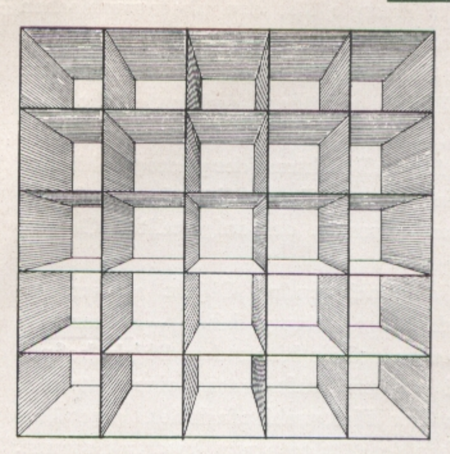


Abb. 9. Wabenblende nach Bucky

Die Wabenblende

Für die visuelle Betrachtung des Objektes am Fluoreszenzschirm ist die Blende B in Form einer Wabe ausgebildet (Abb. 9); die kreuzweis angeordneten Lamellen, die sich auf dem Schirm als feststehender Kreuzraster abbilden, stören nicht, weil das Objekt beliebig vor der Blende hin und her bewegt werden kann.

Bewegliche Lamellenblenden

Für die Aufnahmen wird umgekehrt das Objekt festgelegt und die Blende, bestehend aus einer radial zur Antikathode gerichteten Lamellenreihe, auf mechanischem Wege zwischen Objekt und Platte oder Film gleichmäßig während der Belichtung vorbeigeschoben (Abb. 10).

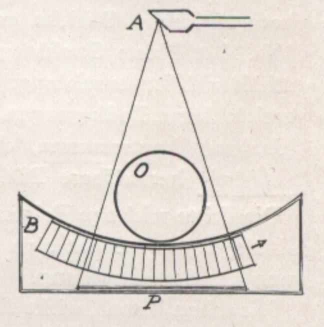


Abb. 10.
Bewegte Bucky-Potterblende
O = Objekt
B = Blende
P = Platte

Einige Ausführungsformen solcher nach diesem Prinzip konstruierten Blenden werden wir im praktischen Teil (S. 47 Abb. 41 u. 42) kennenlernen.

III. Der Strahlengang der Röntgenstrahlen

Nachdem wir uns mit der Entstehung und der Natur der Röntgenstrahlen bekanntgemacht haben, wenden wir uns der Frage nach der Geometrie des Strahlenganges und ihren Konsequenzen für die Bilderzeugung zu. Aus den schon besprochenen Eigenschaften der Röntgenstrahlen folgt, daß ihre Optik

den denkbar einfachsten Gesetzen gehorcht: Wir haben es ausschließlich mit geradlinig verlaufenden Strahlen und Strahlenbüscheln zu tun, deren Quelle, der Brennfleck auf der Antikathode, zunächst in erster Annäherung als punktförmig angenommen werden soll. Wie mehrfach betont, sind die Röntgenstrahlen selbst unsichtbar. Läßt man sie aber auf fluoreszierende Materialien (meist in Schirm- oder Folienform angewendet) auftreffen, so leuchten diese Substanzen je nach der Intensität der einfallenden Strahlung und je nach den Fluoreszenzeigenschaften des Materials mehr oder weniger stark auf. Zwischen Lichtquelle und Schirm gehaltene Objekte bilden sich demgemäß, da sie einen Teil der Strahlung absorbieren, in ihren Konturen auf dem Fluoreszenzschirm ab. Diese Bilder sind also Schattenbilder der angewendeten Objekte, und zwar geben Gegenstände, die aus Substanzen verschiedener Dichte, also auch verschiedener Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen bestehen, Bilder, auf denen sich die Materialien gemäß dieser Eigenschaft in der Helligkeit unterschieden abzeichnen. Auch lichtundurchlässige Stoffe (Gewebe, Knochen usw.) können auf diese Weise exakt auf ihre innere Dichtestruktur erkannt werden; nur ist zur Interpretation solcher Bilder erforderlich, daß man sich über die Art der Abzeichnung gegebener Objekte, so einfach ihr Prinzip ist, genau im klaren ist.

Einfache Zentral-projektion

I. Wir betrachten zunächst als einfachsten Fall die Abb. 11. A ist hier die Lichtquelle, G die Gegenstandsgröße, B die Bildgröße, g die Gegenstands-

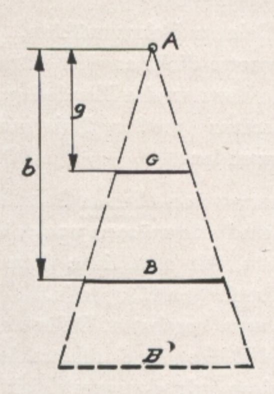


Abb. 11.
Bildgröße B bzw. B' von Röntgenphotogrammen bei punktförmiger Lichtquelle A

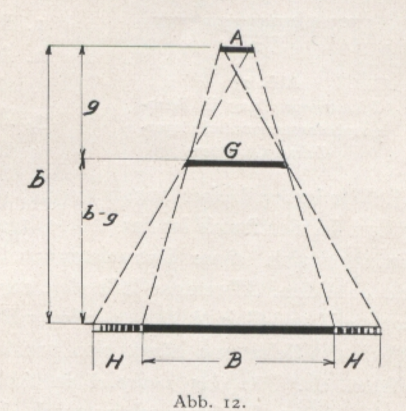


Abb. 12.
Bildgröße B und Schattenverteilung von Röntgenphotogrammen bei flächenförmiger Lichtquelle

entfernung, b die Bildentfernung. Das einfache Gesetz der Zentralprojektion, das für den vorliegenden Fall gilt, lautet $B = \frac{b}{g} \cdot G$. Es sagt aus: Das Bild eines gegebenen Gegenstandes ist um so größer, je weiter die Bildebene vom Gegenstand entfernt ist (vgl. B und B') und, wenn der gegenseitige Abstand beider konstant ist, je näher beide an der Lichtquelle liegen. Für die Intensität des Bildes gilt natürlich das schon oben erwähnte Gesetz, daß die

Helligkeit mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. B' ist also im ganzen schwächer als B.

II. Eine Erweiterung erfährt diese Betrachtung hinsichtlich der Schärfe der Schattenkonturen, wenn die Lichtquelle nicht punktförmig ist, sondern aus einer leuchtenden Fläche besteht. In Abb. 12 ist sie durch die Strecke A wiedergegeben, im übrigen sind die Bezeichnungen von Abb. 11 beibehalten. Wie man erkennt, liegt die Strecke B im Schlagschatten von A, ist aber allseitig umgeben von einem Halbschatten H, für dessen Größe die Beziehung gilt: $H = \frac{b - g}{g} A$. Das bedeutet: Die Größe des Halbschattens H oder die Verwaschenheit der Kontur ist — und das ist praktisch wichtig — um so kleiner:

1. je punktförmiger die Lichtquelle ist (Brennfleckgröße A möglichst klein),
2. je näher Gegenstand und Bild sind (b-g möglichst klein),
3. je größer die Gegenstandsentfernung von der Lichtquelle ist, (g möglichst groß).

Abb. 13.
Schattenverteilung in Röntgenphotogrammen bei körperlichen Objekten

Dies führt zu einer Aufnahmetechnik mit folgenden Bedingungen:

1. Röhre mit kleinem Fokus wählen,
2. Aufnahmekassette dicht an den Körper des Patienten bzw. an die Blende legen,
3. Röntgenapparatur großer Leistungsfähigkeit anwenden.

III. Wir haben bisher angenommen, daß die Schatten von ebenen Gebilden ausgehen. In der Praxis ist das aber selten der Fall, und wir müssen uns daher fragen, wie sich diese Betrachtungen ändern, wenn wir räumliche Gegenstände abbilden. Allgemein läßt sich sagen: Jede durch den Körper (z. B. die homogene Kugel G in Abb. 13) gelegte Ebene g_1, g_2 usw. beschattet B für sich; die Tiefe des Schattens hängt also von der Art und Dicke der durchstrahlten Schichten ab. Für das Beispiel in Abb. 13 erhalten wir demgemäß einen Schatten, dessen Tiefenzunahme nach der Mitte von B durch die Dicke des schwarzen Segments angedeutet ist. Komplizierter zusammengesetzte räumliche Gegenstände erzeugen bei B Bilder, deren Deutung unter Umständen großes Vorstellungsvermögen erfordert und daher nur bei gewisser Geübtheit des Beschauers gelingt.

Schiefe Projektion

IV. Eine Erweiterung muß diese letzte Betrachtung dann erfahren, wenn der abgebildete räumliche Gegenstand erhebliche Breitenausdehnung besitzt. In Abb. 14 ist für diesen Fall neben G_1 die Kugel G_2 „schief" projiziert. Die Folge hiervon äußert sich in doppelter Weise: Einmal ist die Kontur im zweiten Fall, wo der Strahl durch den Mittelpunkt M_2 der Kugel schief auf die Bildebene trifft (vgl. mit M_1), nicht ein Kreis wie bei B_1, sondern eine Ellipse.

Ferner ist aber auch die Schattenverteilung bei B_2 eine andere, da die inneren Strahlen der Lichtquelle näher liegen als die äußeren.

V. Eine erhebliche Erleichterung erfährt die Deutung von räumlichen Röntgenaufnahmen auf photographischen Platten, die, wie schon gesagt, eine gewisse Übung des Beschauers voraussetzt, durch die Zuhilfenahme des stereoskopischen Prinzips. Wie bekannt, weichen die Bilder, die man von räumlich ausgedehnten Gegenständen mit den einzelnen Augen wahrnimmt, von einander ab, und umgekehrt vermittelt die stereoskopische Betrachtung zweier geeignet aufgenommener Lichtbilder die Empfindung der räumlichen Ausdehnung und Struktur des aufgenommenen Gegenstandes. Macht man Stereoskopische Projektion

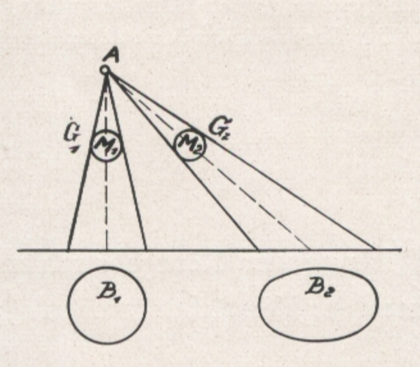


Abb. 14.
Verzerren der Objektkonturen bei „schiefer" Projektion

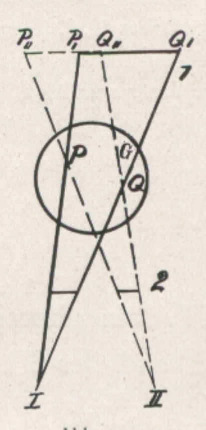


Abb. 15.
Stereoskopische Röntgenaufnahme

(Abb. 15), anknüpfend an diese Tatsache, von der Kugel G, in deren Innern sich die dichten Punkte P und Q befinden mögen, zwei Röntgenaufnahmen, bei denen das Strahlenzentrum der Antikathode sich das eine Mal in I, das andere Mal in II befinden möge, so erhält man in der Bildebene 1 als Schatten die Bildpunkte P_I und Q_I und entsprechend P_{II} und Q_{II}, die nunmehr von I und II mit den Augen betrachtet, die räumliche Lage von P und Q empfinden lassen. Die Antikathodenstellung bei der Aufnahme muß dabei genau der Augenstellung bei der Bildbetrachtung entsprechen, damit den parallaktischen Verhältnissen beim Sehen Genüge geleistet wird. Es sei noch erwähnt, daß der gleiche Effekt erzielt wird, wenn geeignete Verkleinerungen der Originalaufnahmen in Ebene 2 betrachtet werden, und ferner, daß es nach diesem Verfahren der Aufnahme von Körpern von zwei verschiedenen Punkten aus möglich ist, rechnerisch die wahre Lage von P und Q durch Ausmessung der Platten zu bestimmen.

Technisch stößt die Herstellung von Röntgen-StereoAufnahmen auf gewisse Schwierigkeiten. Die beiden Aufnahmen können nicht gleichzeitig, sondern müssen hintereinander gemacht werden. Dabei müssen sie schnell hinter-

einander exponiert werden, da sonst durch unwillkürliche Verlagerung der Weichteile (Darm usw.) fehlerhafte Stereobilder entstehen.

Die fertigen Aufnahmen kann man in Apparaten betrachten, die im Prinzip ebenso konstruiert sind, wie die bekannten Betrachtungsapparate für kleine Formate (Verkleinerungen vgl. Abschnitt VIII Seite 71).

Man kann aber auch auf den Stereo-Betrachtungs-Apparat verzichten, indem man sich von den beiden Aufnahmen Anaglyphen herstellt. Bei dieser Art Stereoskopie werden die beiden Bilder in komplementären Farben hergestellt (meist grün und rot). Betrachtet man das grüne Bild durch eine grüne Scheibe derselben Farbe, so verschwindet es, betrachtet man es durch eine rote Scheibe, so erscheint es schwarz. Entsprechendes gilt für das zweite, rot gefärbte Bild. Legt man beide Bilder übereinander und betrachtet man sie durch eine Brille, mit einem roten und einem grünen Glase, so sieht jedes Auge das zugehörige Bild in schwarz. Der Gesamteindruck ist daher der eines räumlichen Bildes (vgl. Seite 21).

IV. Die photographische Wirkung der Röntgenstrahlen und des Fluoreszenzlichtes der Verstärkungsfolien

Ebenso wie sich zwischen dem Verhalten der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Materie gewisse Ähnlichkeiten zu dem Verhalten der Lichtstrahlen ergaben, hat die Röntgenphotographie mit dem gewöhnlichen photographischen Prozeß viel gemeinsames. Bevor wir daher im einzelnen auf die Besprechung der photographischen Wirkung der Röntgenstrahlen und der Verstärkungsfolien eingehen, werden wir uns zunächst mit den allgemeinen Grundlagen der Lichtphotographie befassen.

a) Allgemeine Grundlagen des photographischen Prozesses.

Alle photographischen Verfahren beruhen auf der Tatsache, daß gewisse Stoffe beim Bestrahlen — oder genauer gesagt beim Absorbieren von Strahlung — eine chemische Veränderung erfahren, die sich durch geeignete Nachbehandlung der bestrahlten Substanz festhalten läßt.

Die lichtempfindliche Schicht

Beim normalen Negativprozeß besteht die auf Glas, Film oder Papier aufgetragene photographische Schicht aus einer aufgetrockneten Mischung („Emulsion") aus Bromsilber und Gelatine. Diese Schichten sind, wie schon jetzt bemerkt sei, auch das wichtigste Material für die Röntgenphotographie. Werden die festen Bromsilberteilchen („Körner") der Schicht von Strahlung getroffen, so haben sie die Eigenschaft, von reduzierenden Substanzen (Ent-

wicklern) sehr viel schneller angegriffen und in metallisches Silber übergeführt zu werden als unbelichtete Körner. Die unbelichteten Körner können nach Beendigung des Entwicklungsvorganges durch Natriumthiosulfatlösung aus der Schicht herausgelöst werden, so daß in ihr ein Silberniederschlag zurückbleibt, in dessen grauer bis schwarzer Färbung sich die mehr oder weniger starke Strahlenwirkung geltend macht. Die Größe der entwickelten Silberschwärzung (kurz „Schwärzung“ oder „Dichte“ genannt) ist somit ein Maß für die Stärke der aufgetroffenen Strahlung.

Die Definition der Schwärzung

Für die Schwärzung besitzt man seit längerer Zeit eine Definition, die es gestattet, ihre Größe zahlenmäßig anzugeben. In Anlehnung an den von *Bunsen* und *Roscoe* geschaffenen Begriff der Extinktion definierten *Hurter* und *Driffield* die Schwärzung folgendermaßen:

Wird ein Bündel parallelen Lichtes von der Intensität J_o auf die zu untersuchende geschwärzte Schicht gestrahlt, und verläßt der Lichtstrahl die Schicht mit der (geschwächten) Intensität J_d, so versteht man unter der Schwärzung s den dekadischen Logarithmus des Quotienten aus den genannten beiden Lichtintensitäten J_o und J_d; in Form einer Gleichung erhält man also:

$$s = {}^{10}\log \frac{J_o}{J_d}.$$

Dabei ist es gleichgültig — und dies ist die wesentlichste Eigenschaft der Schwärzung —, ob die ursprüngliche Intensität J_o groß oder klein ist.

Unter der Schwärzung 1 ist also eine solche verstanden, die die Intensität des ankommenden Lichtes J_o auf den zehnten Teil ihres Wertes herabsetzt, denn

$$1 = {}^{10}\log \frac{1}{1/10};$$

die Schwärzung s = 2 vermag entsprechend die Lichtstärke J_o auf den hundertsten Teil zu verkleinern, da

$$2 = {}^{10}\log \frac{1}{1/100}.$$

Die Messung der Schwärzung

Um eine Schwärzung zahlenmäßig angeben zu können, müssen wir daher an der zu untersuchenden Schicht — oder besser gesagt an der Lichtquelle, deren Intensität durch Zwischenschaltung der geschwärzten Schicht geschwächt wird — eine photometrische Messung ausführen: die Bestimmung des Verhältnisses der Intensität von ungeschwächtem und geschwächtem Lichte. Dies geschieht mit Hilfe besonders gebauter Photometer, von denen der von *König-Martens* konstruierte Schwärzungsmesser der bekannteste ist.

Die Angabe der Lichtmenge

Nachdem es uns mit Hilfe dieser Methode möglich ist, jeder vorgegebenen Schicht eine bestimmte Maßzahl zuzuordnen, die den Grad ihrer Schwärzung eindeutig wiedergibt, können wir dazu übergehen, die Größe der Schwärzung einer photographischen Schicht und die Lichtmenge, die bei der photochemischen Einwirkung auf die Schicht wirksam war, miteinander in Beziehung zu setzen. Zur Lösung dieser Aufgabe, die sich die photographische Sensitometrie stellt, benötigen wir noch das Maß für die Lichtmenge. Da diese erstens von der Stärke der angewendeten Lichtquelle (meist in Hefner-

kerzen HK ausgedrückt), zweitens von der Entfernung (in Metern) zwischen Lichtquelle und photographischer Schicht und drittens von der Dauer der Bestrahlung (in Sekunden) abhängt, pflegt man die Lichtmenge in Meterkerzensekunden anzugeben, wobei also 1 MKS diejenige Lichtmenge ist, die von 1 HK in 1 m Entfernung während 1 Sekunde ausgestrahlt wird.

Die photographische Schwärzungskurve

Die gesuchte Beziehung zwischen Lichtmenge und photographischer Schwärzung wird nun durch die photographische Schwärzungskurve dargestellt, von der ein Beispiel in Abb. 16 wiedergegeben ist. Dabei wählt man jedoch nach *Hurter* und *Driffield* als Abszissenmaßstab nicht die Lichtmenge

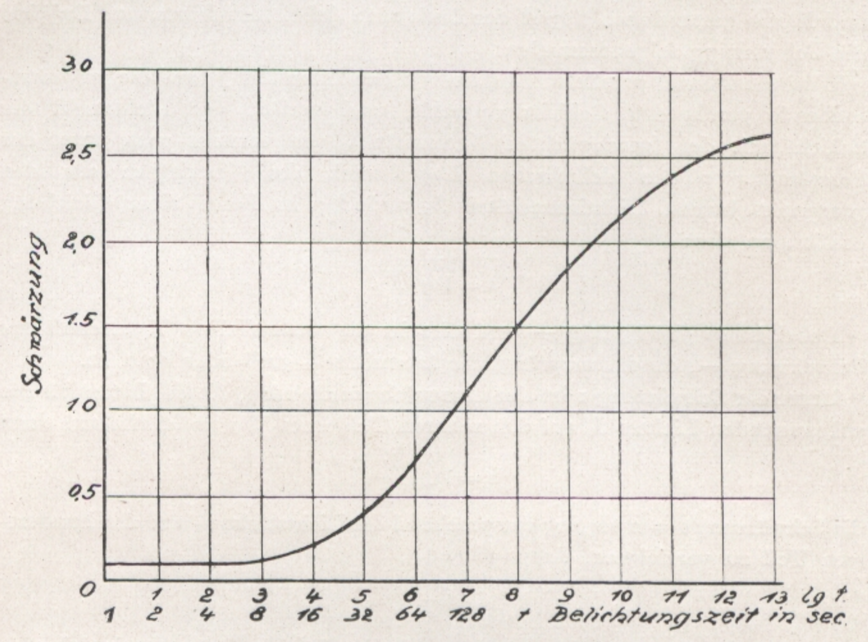


Abb. 16. Allgemeine Schwärzungskurve

in MKS selbst, sondern man zählt diese Größen in ihren Logarithmen, wie dies bereits bei den Schwärzungen geschah. Als weitere Vereinfachung gibt man schließlich nicht den logarithmischen Wert des ganzen MKS-Produktes an, sondern begnügt sich mit der Angabe der Belichtungszeit in logarithmischer Zählung, da bei der Bestrahlung der photographischen Schicht zur Bestimmung der Schwärzungskurve meist so verfahren wird, daß man die betreffende Schicht mit einer ein für allemal bezüglich Kerzenstärke und Entfernung konstant eingestellten Lichtquelle in bestimmt abgestuften Zeiten belichtet. So bedeuten also die in gleichen Abständen an dem Horizontalmaßstab angefügten Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, . . ., daß die Schicht der Reihe nach in den Zeiten 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 usw. Sekunden mit einer geeignet eingestellten Lichtquelle belichtet wurde. Das Diagramm gibt somit an, daß bei der Belichtungszeit 64″ die Schwärzung $s = 0{,}7$ entsteht, bei der Belichtungszeit 16″ nur

noch s = 0,15, bei der Belichtungszeit 8″ und weniger dagegen jeweils die Schwärzung 0,12, die man auch erhält, wenn man die Schicht gar nicht belichtet.

Der Schleier und die Schwelle

Diesen Schwärzungswert nennt man den Schleier der betreffenden photographischen Schicht und diejenige Stelle der Schwärzungskurve, an der sich die ersten Lichteindrücke durch den beginnenden Anstieg der Kurve bemerkbar machen, die Schwelle der Schicht; in unserem Falle ist sie etwa bei der Belichtungszeit 16, in logarithmischer Zählung (zur Basis 2) also bei Lichtwert 4 gelegen.

Die photographische Empfindlichkeit

Die Lage der Schwelle ist ein wichtiges Mittel zur Kennzeichnung der photographischen Empfindlichkeit der Schicht. Man ist z. B. berechtigt, die soeben betrachtete Schicht, deren Schwelle beim Lichtwert 4 gelegen war, als empfindlicher zu bezeichnen als eine solche Schicht, deren Schwelle erst bei der Belichtungszeit 32″ oder 64″ erreicht wird. Die Nennung des Schwellenwertes als Empfindlichkeitsangabe wäre hinreichend, wenn die Schwärzungskurven aller Emulsionstypen einander parallel liefen; dann wäre nämlich das Empfindlichkeitsverhältnis aller Plattensorten für alle Schwärzungen konstant. Diese Voraussetzung trifft jedoch nicht zu, da die Schwärzungskurven verschiedener Emulsionstypen verschiedene Steilheit zeigen können. So tritt z. B. häufig der in Fig. 17 wiedergegebene Fall ein, daß eine Schicht mit kleinerer Schwellenempfindlichkeit durch den steileren Anstieg ihrer Schwärzungskurve (Kurve II) eine flachere Gradationskurve mit größerer Schwellenempfindlichkeit (Kurve I) schneidet; für starke Belichtungen kehrt sich somit das Empfindlichkeitsverhältnis um. Bei dem Lichtwert P sind die Empfindlichkeiten der beiden Plattensorten einander gleich. Zur vollständigen Beschreibung der Empfindlichkeit einer Plattensorte ist daher stets die Betrachtung der ganzen Schwärzungskurve erforderlich. Das sensitometrische System von *Hurter* und *Driffield*, auf das wir nicht näher eingehen, ist bestrebt, sich diesen Verhältnissen anzupassen.

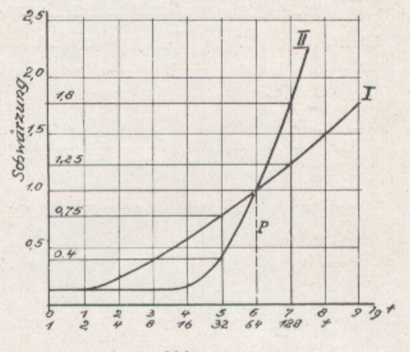


Abb. 17.
Schwärzungskurven zweier Emulsionsarten verschiedener Gradation

Der Objektumfang und der Negativumfang

Wir wollen an den eben betrachteten Schwärzungskurven I und II noch eine weitere wichtige Tatsache erörtern. Infolge der verschiedenen Kurvenform unterscheiden sich die Schwärzungen, die von den Lichtwerten 5 und 7 erzeugt werden, in einem Falle (I) um den Betrag $1{,}25 - 0{,}75 = 0{,}5$, im anderen Falle (II) um den Betrag $1{,}8 - 0{,}4 = 1{,}4$. Dies ist zunächst der zahlenmäßige Ausdruck dafür, daß die Schicht mit der Kurve II kontrastreicher (steiler) arbeitet als die Schicht mit der flacheren Kurve I, denn in beiden Fällen handelt es sich um die Wiedergabe des gleichen Belichtungsverhältnisses 4 (zwei Intervalle mit dem Faktor 2). Nun kann man bei jeder photographischen Aufnahme eine Zahl angeben, welche aussagt, um wieviel mal größer die Intensität des höchsten Lichtwertes im Objekt gegenüber der des gering-

sten Lichtwertes ist, und dementsprechend würde man auch hier ein verschiedenes Schwärzungsintervall auf den Negativen der betrachteten beiden Schichten beobachten. In der Bezeichnungsweise von *Goldberg* heißt dies: Der gleiche Objektumfang (Verhältnis zwischen höchstem und geringstem Lichtwert im Objekt) ergibt auf I einen kleineren Negativumfang (Differenz der zugehörigen Schwärzungswerte) als auf II. Man erkennt hieraus: Es ist möglich, von einem vorgegebenen Objektumfang Negative herzustellen, deren Umfang innerhalb gewisser Grenzen beliebig ist. Die Grenzen sind durch die Steilheit der Schwärzungskurven gegeben. Von dieser wichtigen Tatsache werden wir im nächsten Absatz Gebrauch machen.

b) Der photographische Prozeß bei Verwendung von Röntgenstrahlen.

Wie schon wiederholt erwähnt, rufen auch die Röntgenstrahlen an den Silbersalzen eine chemische Veränderung hervor, die sich, wie die Wirkung des Lichtes, durch nachträgliche Entwicklung sichtbar machen läßt. Immerhin bestehen zwischen diesen beiden photochemischen Prozessen eine Reihe von Unterschieden, auf die wir sogleich eingehen, um im Anschluß hieran zu zeigen, welchen Weg die Entwicklung der Röntgenphotographie auf Grund jener Erkenntnisse gegangen ist, um den Erfordernissen der Praxis gerecht zu werden.

Der Vergleich von Licht- und Röntgenstrahlen-Schwärzungskurve

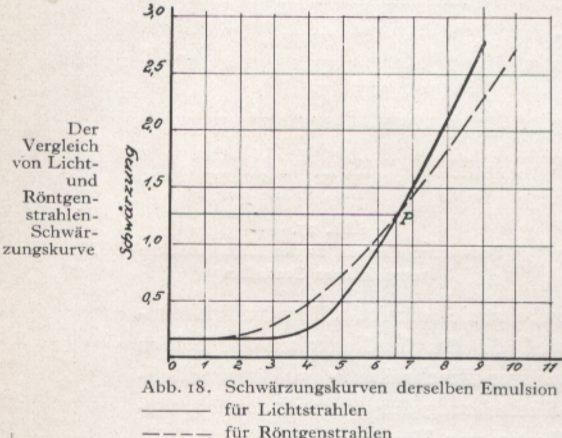


Abb. 18. Schwärzungskurven derselben Emulsion
——— für Lichtstrahlen
– – – – für Röntgenstrahlen

In Abb. 18 ist zunächst ein photographischer Vergleich zwischen Licht- und Röntgenstrahlung in der Weise vorgenommen, daß die Schwärzungskurven beider Energiearten für die gleiche Emulsionsschicht wiedergegeben sind. Da ein solcher Vergleich wegen der Verschiedenheit der beiden Strahlengattungen nicht ohne weiteres möglich ist, wurde hierbei so verfahren, daß die beiden zugehörigen zeitlich in gleichem Verhältnis gestaffelten Kurven bei einer bekannten Schwärzung demselben Abszissenwert zugeordnet werden (P). Man erkennt ähnliche Verhältnisse wie bei Abb. 17. Von F ab nach geringeren Belichtungswerten fällt die eine Kurve steiler ab als die andere. Während jedoch vorhin der Unterschied der Kurven durch die Verschiedenheiten zweier Emulsionsarten bedingt war, wird er hier durch die Verschiedenheit der beiden Strahlengattungen in ihrer Wirkung auf die gleiche Emulsion verursacht: Die Schwärzungskurve der Röntgenstrahlen verläuft unterhalb P im Mittel flacher als die der Lichtstrahlen. Oder anders ausgedrückt: Ein bestimmter Objektumfang wird durch Lichtstrahlen auf dem Negativ durch einen größeren Schwärzungsumfang wiedergegeben als durch Röntgenstrahlen; das Lichtnegativ ist somit kontrastreicher als das Röntgenstrahlnegativ.

Ein zweiter Unterschied zwischen den Licht- und den Röntgenstrahlen besteht hinsichtlich ihrer Absorption in der photographischen Schicht. Ordnet man z. B. mehrere photographische Schichten hintereinander an und belichtet dieses Paket einerseits mit Licht, andererseits mit Röntgenstrahlung, so wird man finden, daß der Lichteindruck nur ganz wenige Schichten zu durchdringen vermag, während die Röntgenstrahlen, wenn sie nicht allzu weich sind, eine erheblich größere Tiefenwirkung zeigen. Die Lichtabsorption in der Schicht ist also erheblich größer als die Absorption von (diagnotisch) verwendeten) Röntgenstrahlen.

Das Absorptionsvermögen der Schicht für Licht- und Röntgenstrahlen

Dementsprechend ist die Anordnung der von den Strahlungen erzeugten Silberkörner innerhalb der entwickelten fixierten Schicht wesentlich verschieden. In Abb. 19 sind zur Illustration dieses Unterschiedes zwei Dünnschnitte senkrecht zur Schicht wiedergegeben, von denen der eine vorher mit Folien-Licht, der andere mit Röntgenstrahlen belichtet war. Im ersten Falle befinden sich die Silberkörner im wesentlichen an der Oberfläche der Schicht, nämlich dort, wo fast alles Licht bereits absorbiert wurde; im anderen Falle durchsetzen die Körner die ganze Tiefe der Schicht, da die Röntgenstrahlintensität nur eine ganz allmähliche Abnahme mit wachsendem Eindringen der Strahlung in die Schicht erleidet.

Die Verteilung des Silbers in der Schicht

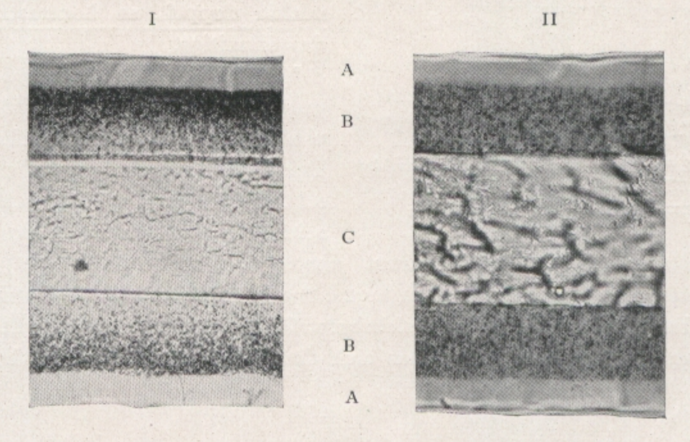


Abb. 19. Mikrophotographie von Dünnschnitten eines belichteten und entwickelten doppelt begossenen Agfa-Röntgenfilms (100fach vergrößert)
I. Schwärzung durch Lichtstrahlen (Folienlicht)
II. Schwärzung durch Röntgenstrahlen
A. Schutzhaut
B. Emulsion
C. Film

Aus diesem Unterschiede zwischen Licht- und Röntgenstrahlen, namentlich aus dem letzten Befunde ergab sich eine technische Folgerung von grundlegender Bedeutung für die Röntgenphotographie: Der doppelseitig begossene Röntgenfilm. Infolge des hohen Durchdringungsvermögens der photographischen Schicht für die Röntgenstrahlen ist nämlich die Möglichkeit gegeben, mit einer einzigen Belichtung gleichzeitig zwei durch den Schichtträger zusammengehaltene Schichten zu exponieren, die ein doppelt stark geschwärztes Bild

Der doppelseitig begossene Röntgenfilm

liefern; das Negativ ist auch zugleich parallaxenfrei, da der Film gegenüber der schon in früheren Zeiten verwendeten doppelseitig begossenen Glasplatte eine erheblich geringere Dicke besitzt. Wie sich die Überlagerung der beiden Teilbilder systematisch auswirkt, zeigt Abb. 20, in der die Schwärzungskurven der einseitigen und der doppelseitigen Schicht für gleiche Belichtungen gegenübergestellt sind: Der doppelseitige Film ist bei allen Expositionen doppelt so stark geschwärzt als der einseitige; das doppelseitige Negativ erscheint mithin doppelt so kontrastreich als das einseitige.

Die Fluoreszenzstrahlung der Verstärkungsfolien

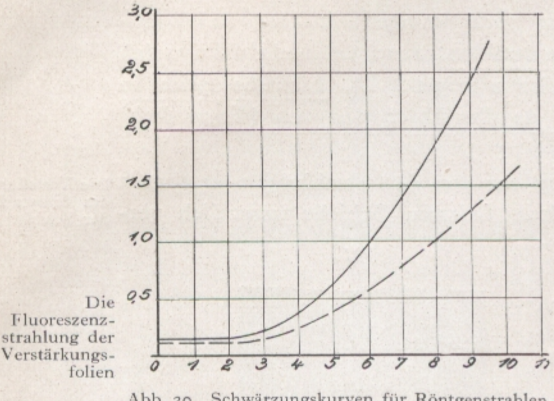


Abb. 20. Schwärzungskurven für Röntgenstrahlen
——— einseitig begossener Film
– – – – doppelseitig begossener Film

Mit der direkten Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Schicht ist die photographische Ausbeutbarkeit jener Energieart indessen noch nicht erschöpft. Wie man vielmehr schon frühzeitig erkannte, vermag man mit den Röntgenstrahlen einen vergrößerten photographischen Effekt zu erzielen, wenn man sich die Tatsache zu nutze macht, daß gewisse Substanzen im Röntgenlicht unter Aussendung sichtbarer Strahlung fluoreszieren. Stellt man aus derartigen Stoffen, von denen sich das Calciumwolframat als besonders

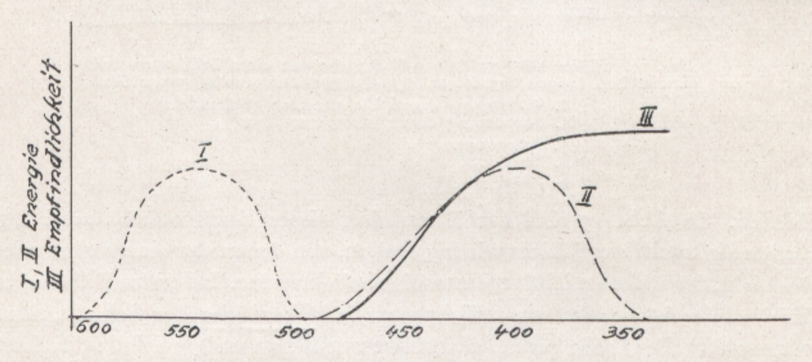


Abb. 21. Die spektrale Lage der Fluoreszenzstrahlung des Durchleuchtungsschirmes (I) und der Calciumwolframat-Verstärkungsfolie (II). Die spektrale Empfindlichkeit des Bromsilbers im Gebiete derer sichtbaren und ultravioletten Strahlen (III)

wirksam erwiesen hat, eine gleichmäßige Schicht her, die man mit der photographischen Schicht in innigen Kontakt bringt, so findet in jener „Verstärkungsfolie" eine Umwandlung der absorbierten Röntgenstrahlung in Lichtenergie statt, die ihrerseits in erhöhtem Maße auf die photographische Schicht einwirkt. Worauf letzten Endes dieser Verstärkungseffekt beruht, müssen wir uns hier versagen zu erörtern. Wir begnügen uns unter Hinweis auf Abb. 21 mit der Feststellung, daß das Fluoreszenzlicht des Calcium-

wolframats gerade in dasjenige Spektralgebiet fällt, in dem die normale photographische Bromsilberschicht ihre größte Empfindlichkeit besitzt. Das Fluoreszenzlicht des Bariumplatincyanürs ist dagegen photographisch weniger wirksam und wird, wie dasjenige des Zinksilicats für Röntgendurchleuchtungschirme verwendet, da das Spektralgebiet seiner Emission andrerseits für das Auge besonders günstig gelegen ist.

Der photographische Vergleich zwischen Röntgen- und Folienschaltung

Um die Verstärkungswirkung der Calciumwolframatfolie zu demonstrieren, st in Abb. 22 das Ergebnis einer Parallelbelichtung mit und ohne Einschaltung einer Folie dargestellt, und zwar auf zwei photographischen Materialien, um auch zugleich in dieser Beziehung einen Vergleich vorzuführen. Abb. 22 zeigt die Reproduktion eines einseitig begossenen Plattenstreifens (a) und eines doppelseitig begossenen Filmstreifens (b); jeder der beiden gleichzeitig staffelweise exponierten Streifen (oben stark, unten schwach) war zur Hälfte frei (R), zur Hälfte mit Verstärkungsfolie (F) abgedeckt, die Platte mit einer, der Film, entsprechend seinen beiden lichtempfindlichen Schichten, mit zwei Folien. Man erkennt zunächst wieder, daß der Film gegen reine Röntgenstrahlung empfindlicher ist als die Platte (vgl. Abb. 20); dasselbe findet man nun weiterhin auch für die Wirkung der Folie, wenn man die beiden F-Seiten der Streifen miteinander vergleicht. Auf der Abb. 23 sind diese Verhältnisse nochmals kurvenmäßig zur Darstellung gebracht, jedoch der besseren Übersicht wegen lediglich für den Doppelfilm. Auch hier zeigt sich wiederum, daß die von den beiden Folien hervorgerufenen Schwärzungen immer in kürzerer Zeit erreicht werden, als die gleichgroßen von der Röntgenstrahlung erzeugten. Außerdem zeigt die zu dem Fluoreszenzlicht des Calciumwolframats gehörige Schwärzungskurve im Mittel einen steileren Verlauf als diejenige der reinen Röntgenstrahlung. Endlich ergibt sich aus der gegenseitigen Lage der beiden Kurven ein Maß für die Wirksamkeit der Verstärkungsfolie. Man bezeichnet nämlich mit dem Verstärkungsfaktor dasjenige Vielfache an Expositionszeit, um das sich zwei Belichtungen ohne und mit Benutzung einer Folie zur Erreichung der gleichen Schwärzung unterscheiden. Aus Abb. 23 geht z. B. hervor, daß die Schwärzung $s = 0{,}75$ in einem Falle in 128 Sekunden, im anderen schon in 16 Sekunden erzeugt wird. Der Verstärkungsfaktor hat demgemäß den Wert $f = \frac{128}{16} = 8$. Der Verstärkungsfaktor ist übrigens, wie aus dem Verlauf der beiden Kurven hervorgeht, keine konstante Größe, sondern er hängt

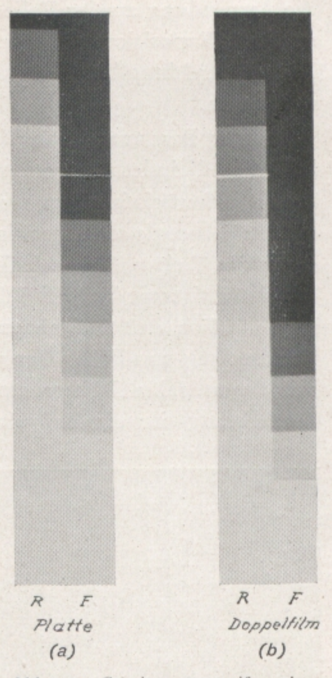


Abb. 22. Sensitometerstreifen einer Röntgenplatte und eines Röntgendoppelfilms gleichzeitig staffelweise belichtet; die Hälften F sind mit Verstärkungsfolien überdeckt gewesen

Der Verstärkungsfaktor

von der betrachteten Schwärzung ab: Für kleine Werte ist er gering, weil die Schwelle der Fluoreszenzstrahlkurve bei relativ geringeren Belichtungswerten gelegen ist als diejenige der Röntgenstrahlkurve. Für mittlere Schwärzungen wächst der Verstärkungsfaktor an, um dann im Gebiet noch höherer Deckung wieder etwas abzunehmen. In dem bildwichtigen Teil der Schwärzungskurve hat der Verstärkungsfaktor im Mittel für den Doppelfilm den Wert 8 bis 16; durch die Anwendung zweier Folien kann man somit die Expositionszeit gegenüber reiner Röntgenstrahlung auf den achten Teil reduzieren.

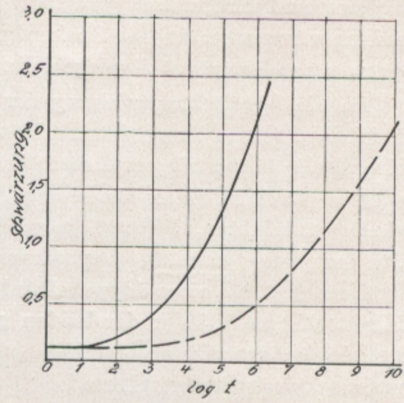


Abb. 23. Schwärzungskurven eines Röntgendoppelfilms; sie entsprechen dem in Abb. 22 gezeigten Sensitometerstreifen
——— Doppelfilm mit Doppelfolie
– – – – Doppelfilm ohne Folie

Die Unschärfe bei Folienaufnahmen und ihre Verhütung

Bei der Benutzung von Verstärkungsfolien sind indessen verschiedene Momente zu berücksichtigen, wenn der Vorteil der Ersparnis an Expositionszeit nicht durch die übrigen Eigenschaften der Folie beeinträchtigt werden soll. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß Aufnahmen, die unter Verwendung von Folien hergestellt sind, wesentlich unschärfer sind als solche, bei denen reine Röntgenstrahlung benutzt wurde. Der Grund für diese Erscheinung ist ein doppelter. Einmal ist die Korngröße der in der wirksamen Folienschicht enthaltenen Calciumwolframatkristalle beträchtlich größer als diejenige der Bromsilberteilchen in der photographischen Schicht. Einen Vergleich beider Substanzen gibt Abb. 24. Aus ihr geht hervor, daß die Kontur eines scharf begrenzten Schattens in beiden Fällen eine verschiedene Auflösung erleiden muß, da im Falle der direkten Röntgenstrahlwirkung kleinere Elemente zur Abbildung der Kontur vorliegen, als im Falle der Fluoreszenzwirkung, die von einer diffus strahlenden Schicht gröberer Kriställchen ausgeht. In der Regel wird jedoch diese Ursache der unscharfen Zeichnung bei weitem übertroffen durch das Verwaschsen der Kontur, das durch den unvermeidlichen Abstand zwischen Folien- und Bromsilberschicht entsteht; ähnlich wie früher (S. 20) gezeigt wurde, daß die

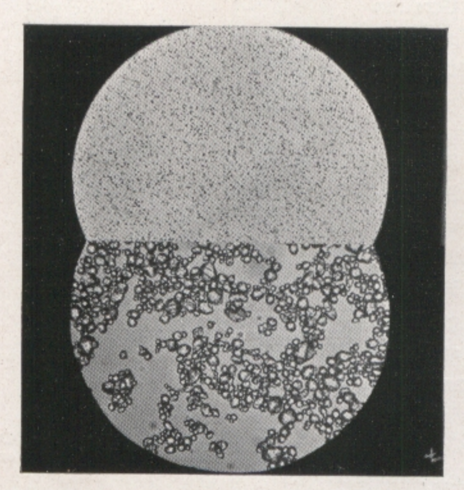


Abb. 24. Vergleich der Korngrößen
A des Bromsilbers
B des Calciumwolframats der Verstärkungsfolie
(ca. 200 fach vergrößert)

Schärfe einer Schattenkontur mit vermindertem Abstand von Gegenstand und Bildfläche wächst, ist bei Anwendung des Verstärkungsschirmes die Bildzeichnung um so schärfer, je dichter Calciumwolframatschicht und Bromsilberschicht aufeinanderliegen. Zur Illustration dieser wichtigen Forderung dient Abb. 25, bei der ein Drahtnetz erstens mit reiner Röntgenstrahlung (I), das zweitemal mit gut angepreßter Folie (II) und das drittemal mit mangelhaft angelegtem Verstärkungsschirm (III) aufgenommen wurde. Ein Vergleich zwischen I und II lehrt, daß die Konturschärfe bei zweckmäßig verwendeter Folie nicht merklich hinter derjenigen zurückzustehen braucht, die durch

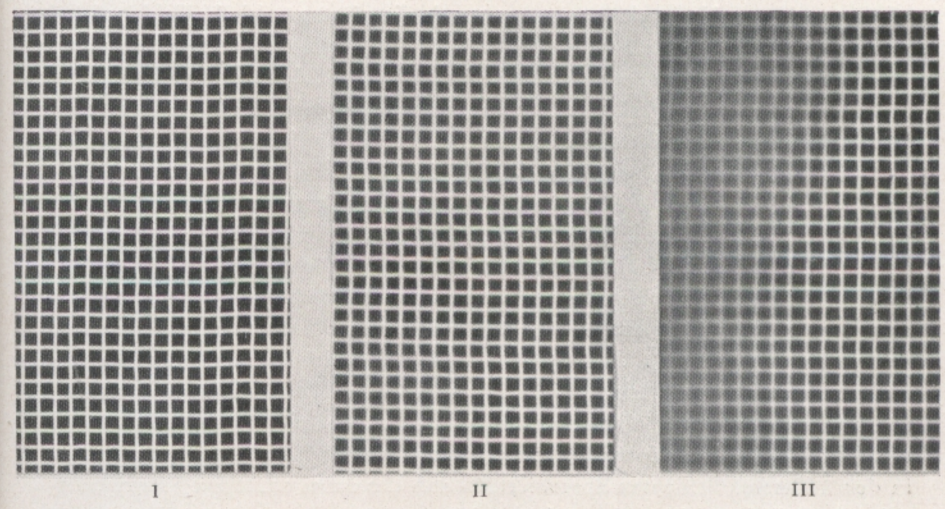


Abb. 25. Vergleich der Zeichnungsschärfe
Drahtnetzaufnahme: I. mit reiner Röntgenstrahlung
II. mit exakt anliegender Folie
III. mit schlecht anliegender Folie

reine Röntgenstrahlung erzielt wurde. Dagegen zeigt der Vergleich zwischen II und III, daß eine möglichst dichte Lagerung der beiden Schichten für die Güte der Aufnahme unerläßlich ist.

Das Nachleuchten der Verstärkungsfolien

Schließlich ist bei der Verwendung der Verstärkungsfolien auf folgende Eigenschaft des Calciumwolframats zu achten: Außer dem Fluoreszenzlicht, das die Substanz während der Bestrahlung mit Röntgenenergie emittiert, sendet sie nach derselben ein mehr oder weniger intensives Phosphoreszenzlicht aus. Diese mit „Nachleuchten" bezeichnete Erscheinung kann in ungünstigen Fällen insofern störend werden, als sich bei der folgenden Aufnahme auf dem Film zwei Bilder überlagern, eines von der Fluoreszenz-, das andere von der Phosphoreszenzstrahlung (der vorangegangenen Belichtung) herrührend. Man vermeidet diesen Fehler durch Benutzung von Folien mit verschwindender Nachleuchtungswirkung, sowie durch Einhalten eines größeren zeitlichen Abstandes zwischen zwei Aufnahmen.

Die Rolle der Strahlenhärte in der Röntgenphotographie

Die bisher erörterten Tatsachen bezogen sich auf die Verwendung von Röntgenstrahlung unabhängig von der Frage, welchen Einfluß eine Variation der Wellenlänge (Strahlenhärte) auf die photographische Wirkung der Strahlung ausübt. Dieser Frage wollen wir uns jetzt zuwenden, wobei streng zu unterscheiden sein wird, welche Abhängigkeiten in Wirklichkeit vorliegen und welche Zusammenhänge bei der praktischen Ausübung der Röntgenphotographie zutage treten.

Die Empfindlichkeit einer bestimmten photographischen Schicht für reine Röntgenstrahlung ist, gleiche Energie der auffallenden Strahlung vorausgesetzt, im wesentlichen von der Absorptionsfähigkeit der Schicht für die Strahlen der verschiedenen Wellenlängen abhängig. Es gelten also die früher (S. 12) allgemein ausgesprochenen Absorptionsgesetze, wonach die photographische Schicht langwellige (weiche) Strahlen zu einem hohen, kurzwellige (harte) Strahlen zu geringem Betrage absorbiert (dasselbe gilt für die Schicht der Verstärkungsfolien). Auf gleiche auffallende Energie bezogen ist mithin die Schicht (ohne Folie) für langwellige Strahlung empfindlicher als für kurzwellige.

Andererseits hat sich herausgestellt, daß die Gradation der Schwärzungskurve von der Wellenlänge der absorbierten Röntgenstrahlung unabhängig ist. Für die Folienstrahlung braucht diese Tatsache nicht besonders betont zu werden, da das Calciumwolframat immer dasselbe Fluoreszenzlicht emittiert, gleichgültig welche Wellenlänge die absorbierte Röntgenstrahlung besitzt. Was schließlich den Verstärkungsfaktor anlangt, so wächst er mit abnehmender Wellenlänge (steigender Strahlenhärte). Harte Strahlen rufen also die kräftigste Verstärkung hervor. Für sehr lange Wellen kann andererseits statt der Verstärkung sogar eine Schwächung eintreten, da das Calciumwolframat unter Umständen die sehr weiche (diagnostisch kaum mehr verwendete) Strahlung bereits in den äußersten Schichten absorbiert, so daß das dabei emittierte Fluoreszenzlicht die Schicht nicht mehr verlassen kann.

Abgesehen von den Aussagen über den Verstärkungsfaktor, die mit den praktischen Erfahrungen in Einklang stehen, kommen die letztgenannten Tatsachen bei der praktischen Ausübung der Röntgenphotographie fast gar nicht zum Ausdruck, weil sich ihnen andere Erscheinungen überlagern. Die Praxis lehrt nämlich — scheinbar gerade im Gegensatz zu der oben gemachten Angabe —, daß erstens im Gebiete harter Strahlen erheblich kurzfristigere Aufnahmen gemacht werden können als im Gebiete weicher Strahlen, und daß zweitens Aufnahmen mit harter Strahlung stets flauer graduiert erscheinen als Aufnahmen mit weicher Strahlung (vgl. S. 17). Tatsächlich ist der Grund für diese an sich natürlich unbestreitbaren Befunde auch nicht in den Eigenschaften des Films zu suchen — die durch die oben genannten Sätze gekennzeichnet sind —, sondern jene Zusammenhänge sind in der Eigenart der Entstehung der Röntgenstrahlen und in ihrem Verhalten beim Durchgang durch die Materie begründet. Wenn also bei Verwendung harter Strahlen beträchtlich kurzfristigere Aufnahmen erzielt werden können als bei weichen Strahlen, so liegt dies einfach daran, daß bei Anlegen einer hohen Spannung an die Röntgenröhre ungleich viel mehr Strahlenenergie emittiert wird als bei

Anlagen von niederer Spannung, eine Tatsache, der wir bereits bei Besprechung der Abb. 4 begegneten. Außerdem ist, wie wir ebenfalls schon besprochen haben, die harte Strahlung gegenüber dem aufgenommenen Objekt viel durchdringender als die weiche, so daß im ersten Falle erheblich mehr Energie auf die Schicht auftrifft als im zweiten. Obgleich also die harte Strahlung an sich viel schwächer von der photographischen Schicht absorbiert wird, entsteht sie bei hohen Röhrenspannungen in soviel größerem Maße (im Vergleich zu weichen Strahlen bei niederen Spannungen), und dringt soviel eher durch das aufzunehmende Objekt, daß man im Gesamteffekt mit kürzeren Expositionszeiten auskommt. — Ähnlich liegt der Fall hinsichtlich der verschiedenen Gradation von Aufnahmen, die mit Strahlungen verschiedener Härte hergestellt werden. Nicht die Form der Schwärzungskurve für die genannten beiden Spektralgebiete ist der Grund für diese Erscheinung, sondern der verschiedene Strahlenkontrast (vgl. S. 13), den das durchleuchtete Objekt bei Verwendung von weicher und harter Strahlung verursacht. Wie aus Tab. 2 hervorging, ist der Strahlenkontrast (z. B. zwischen Knochensubstanz und Gewebe) groß bei weicher, klein bei harter Strahlung, und hieraus resultiert entsprechend auf dem Film ein kontrastreiches Bild bei weicher, ein kontrastarmes bei harter Strahlung. Wie der mangelnde Kontrast bei harter Strahlung, der teilweise durch die entstehende Streustrahlung verursacht wird, durch Beseitigung derselben gesteigert werden kann, wurde schon früher erörtert. Darüber hinaus erkennen wir das wichtige Problem, den Bildkontrast auf photographischem Wege zu erhöhen, wichtig deshalb, weil die Verwendung harter Strahlung wegen der Erzielung kurzzeitiger Aufnahmen und hoher Verstärkungsfaktoren immer angestrebt werden wird. Die photographische Aufgabe ist einfach die, einen geringen Objektumfang — denn nichts anderes bedeutet ein geringer Strahlenkontrast — als großen Bildumfang wiederzugeben. Dies gelingt, wie uns Abb. 17 lehrte, mit Hilfe von Schichten mit möglichst steiler Schwärzungskurve. Zwei Wege sind hierfür mit Erfolg beschritten worden: Verdoppelung der Schicht und Verwendung von Verstärkungsfolien an Stelle der reinen Röntgenstrahlung. Dies ist der Grund, weshalb sich die Röntgenphotographie in überwiegendem Maße des Doppelfilms mit zwei Verstärkungsfolien bedient.

Der Entwicklungsprozeß in der Röntgenphotographie

Diese Überlegungen führen uns zwangläufig zu dem letzten Punkt, der noch systematisch zu besprechen bleibt: zu den Forderungen, die an den Entwicklungsprozeß in der Röntgenphotographie zu stellen sind. Im Sinne der vorangegangenen Ausführungen hat derjenige Entwickler als der geeignetste zu gelten, welcher im fertigen Bilde bei größtmöglicher Klarheit der hellsten Stellen die größten Kontraststufungen hervorruft.

Die Zahl der Entwickler, die sich für die Behandlung der Röntgenmaterialien bewährt haben, ist nur klein und beschränkt sich im wesentlichen auf drei Typen: Glycin, Rodinal und den neuerdings in den Vordergrund getretenen Metol-Hydrochinon-Entwickler.

Wieweit jeder Entwickler der oben aufgestellten Forderung: größte Kontraste bei größtmöglicher Klarheit in den hellsten Lichtern, nachkommt,

läßt sich in einfacher Weise durch eine zeitlich abgestufte Entwicklung von Sensitometerstreifen (S. 29, Abb. 22) feststellen. Bringt man eine Serie von gleichzeitig und gleichmäßig hergestellten Sensitometerstreifen in den zu prüfenden Entwickler und entnimmt man nach beispielsweise $^3/_4$, $1^1/_2$, 3, 6, 12, 24 Minuten je einen Streifen und mißt nach dem Fixieren und Trocknen

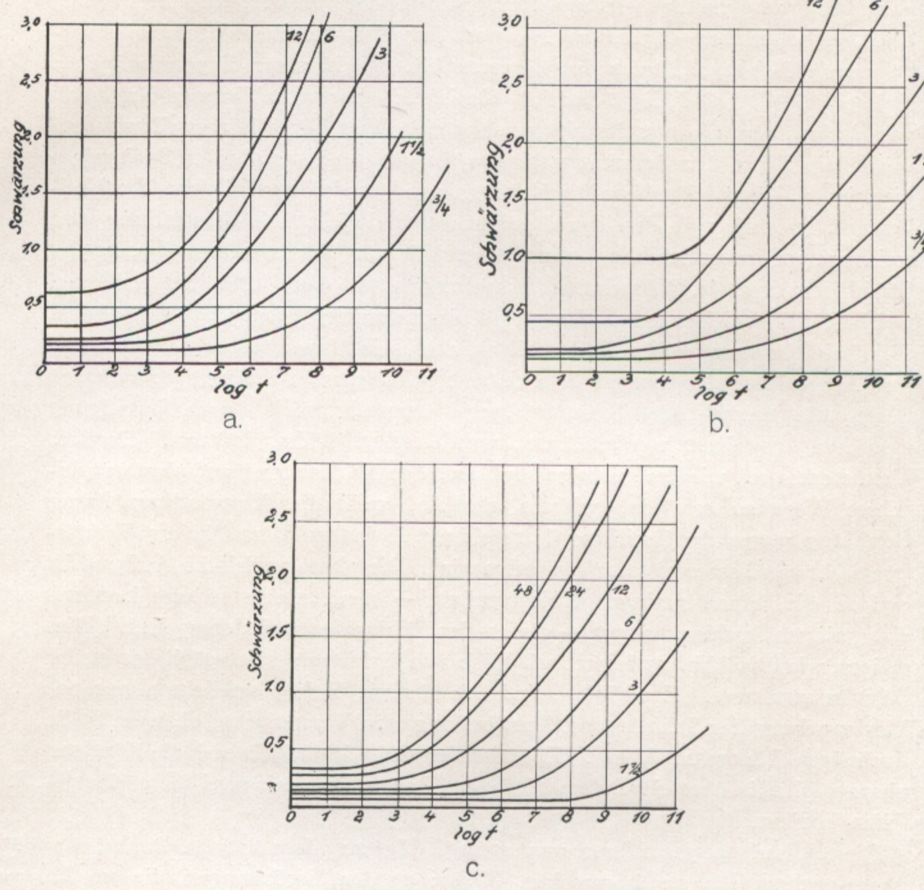


Abb. 26. Zeitlicher Verlauf des Entwicklungsprozesses
a. Metol-Hydrochinon (Röntgen - Rapid-Entwickler, vgl. S. 69)
b. Rodinal 1 : 10
c. Glycinlösung 1 : 4

die erzielten Schwärzungen aus, so kann man die danach erhaltenen Schwärzungskurven in einem Diagramm zusammenstellen und findet leicht die für jeden Entwickler am besten geeignete Entwicklungszeit heraus. Aus den in Abb. 26a für Röntgen-Rapid-Entwickler, 26b für Rodinal 1:10 und 26c für Glycin 1:4 zusammengestellten Kurvenscharen, die den zeit-

lichen Verlauf des Entwicklungsprozesses für jeden dieser Entwicklungstypen veranschaulichen, geht hervor, daß die Steilheit der Kurven nach jeder Zeitperiode zunächst zunimmt und schließlich konstant bleibt, während der Schleierwert in immer beschleunigterem Maße anwächst.

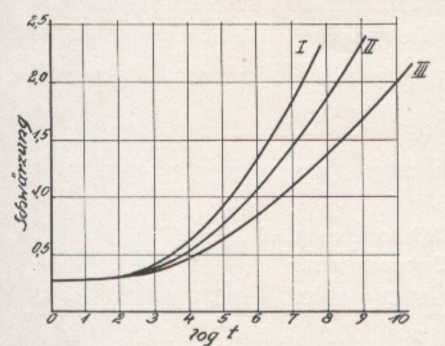


Abb. 27. Schwärzungskurve für die optimalen Entwicklungszeiten (zulässiger Schleierwert 0,25)
I. Rapid-Entwickler, 5 Min.
II. Rodinal 1 : 10, 3 Min.
III. Glycin 1 : 4, 22 Min.

Das Optimum der Entwicklungszeit

Unter der Annahme, daß eine leichte Verschleierung des Bildes, wie sie dem Schwärzungswert 0,25 entspricht, noch in Kauf genommen werden kann, ohne der Bildqualität zu schaden, liegt das Optimum der Entwicklungszeit beim Glycin bei 21 Minuten; beim Rodinal wird dieses Optimum bereits bei 3 Minuten, beim Rapid-Entwickler nach etwa 5 Minuten erreicht. Die Steilheit der Kurven ist dabei am größten beim Metol-Hydrochinon (I), deutlich geringer beim Rodinal (II) und noch geringer beim Glycin (III) (vgl. Abb. 27). Geht man über die optimalen Entwicklungszeiten hinaus (Abb. 26), so wird der Schleierwert für Glycin nur ganz langsam größer, wächst aber schneller beim Rapid-Entwickler und am schnellsten beim Rodinal. Hiernach erscheint der Röntgen-Rapid-Entwickler als der günstigste, denn er braucht nur relativ wenig Zeit, und er gewährleistet ein kontrastreiches und kräftig gedecktes Bild, ohne daß — wofern eine Entwicklungszeit von 5 bis 6 Minuten nicht überschritten wird — die Klarheit in den hellsten Stellen beeinträchtigt wird.

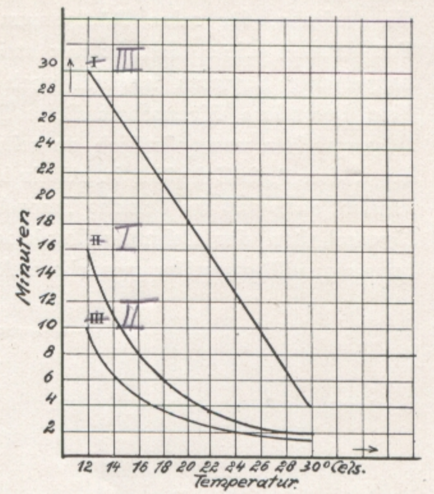


Abb. 28. Entwicklungszeit in Abhängigkeit von der Temperatur
I., II., III. wie bei Abb. 27

Die genannten Vorzüge des Röntgen-Rapid-Entwicklers bleiben auch bestehen, wenn man berücksichtigt, daß in der Praxis die Entwicklungszeiten der beiden anderen verglichenen Entwicklerarten Glycin und Rodinal gegenüber den oben bezeichneten optimalen Entwicklungszeiten etwas abweichen. Normalerweise entwickelt man nämlich mit Glycin 10 Minuten lang, statt 21 Minuten; dadurch wird zwar das Bild etwas klarer gehalten, die Gradation erreicht jedoch nicht ihre optimale Steilheit und bleibt somit merklich hinter der Gradation des Röntgen-Rapid-Entwicklers zurück. Andererseits entwickelt man mit Rodinal in der Praxis 5 Minuten lang statt 3 Minuten, da erst in dieser

Zeit eine genügende Deckung erreicht wird; allerdings muß dabei schon eine wesentliche Verschleierung in Kauf genommen werden. Beides geht aus Abb. 26a und b hervor.

Der Temperatureinfluß der Entwicklung

Bei allen vorigen Versuchen ist eine Temperatur der Entwicklungsbäder von 18° C zugrunde gelegt. Ermittelt man die optimalen Entwicklungszeiten für andere Temperaturbereiche, so ergibt sich die graphisch aufgezeichnete Abhängigkeit (Abb. 28).

Die aus dem Kurvenbild abzulesenden optimalen Entwicklungszeiten für 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24° C sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 3

Optimale Entwicklungszeiten in Minuten von drei Entwicklern für verschiedene Temperaturen.

	12° C	14° C	16° C	18° C	20° C	22° C	24° C
Rapid-Entwickler	16′	10′	7′	5′	4′	3 1/2′	3′
Glycin 1 : 4	30′	27′	24′	21′	18′	15′	12′
Rodinal 1 : 10	10′	6′	4 1/4′	3 1/2′	3′	2 1/2′	2′

Ganz zum Schluß wollen wir noch kurz eine besondere Schichtart betrachten, den Agfa-Zahnfilm. Bei Zahnfilm-Aufnahmen kommt nämlich die Verwendung einer Folie nicht in Betracht, weil einmal die durchstrahlten Objektdicken nur gering sind, und weil zum anderen ein präzises Anliegen der Folie an die Filmschicht in diesem Falle nur schwierig erreicht werden kann. Aus diesen Gründen hat die Emulsion des Agfa-Zahnfilms lediglich die Aufgabe, für reine Röntgenstrahlung empfindlich zu sein, und in der Tat arbeitet diese Schicht mit steiler Gradation, zumal, wenn der Film doppelseitig begossen ist, und auch dann noch mit hervorragender Klarheit. Eine besondere Eigenschaft dieses Materials ist es nun, für Lichtstrahlen ausgesprochen unempfindlich zu sein. Aus diesem Grunde ist man in der Lage, den Agfa-Zahnfilm in relativ hellem Dunkelkammerlicht verarbeiten zu können, ohne daß die Schicht besonders schleiert. Hinsichtlich aller übrigen Eigenschaften der Zahnfilm-Emulsion gelten die für den normalen doppelt begossenen Röntgenfilm gemachten Angaben.

B. PRAKTISCHER TEIL

I. Die Röntgenapparate für Diagnostik

Aus der einfachen Laboratoriums-Apparatur, an welcher einst *Röntgen* seine epochemachende Entdeckung studierte, hat sich entsprechend den immer gesteigerten Anforderungen hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Energieausbeute ein umfangreiches, mit allen Erfahrungen moderner Hochspannungstechnik konstruiertes Instrumentarium entwickelt. Den verschiedenartigen Ansprüchen der Diagnostik und Therapie wird durch Spezialkonstruktionen weitgehend Rechnung getragen. Es interessieren an dieser Stelle nur die Apparaturen für diagnostische Zwecke.

Für die Erzeugung diagnostisch brauchbarer Röntgenstrahlen braucht man Spannungen von etwa 30—80000 Volt, die in Transformatoren erzeugt werden, welche den Wechselstrom der Netzleitung in die gewünschte Spannung umwandeln. Im gleichen Maße, wie die Spannung bei dieser Transformierung erhöht wird, wird die Stromstärke dabei erniedrigt, da die Leistung (Wattzahl) dieselbe bleibt.

Funkeninduktor mit Unterbrecher

Die älteste, heute nur noch selten im Gebrauch anzutreffende Apparatur ist der gewöhnliche Funkeninduktor, den auch *Röntgen* benutzte. Zum Betrieb desselben verwendet man Gleichstrom, welcher, um im Sekundärkreis des Induktors eine Induktionswirkung hervorzurufen, in schneller Folge im Primärkreis durch einen Unterbrecher dauernd geöffnet und geschlossen wird. Eine bewährte Ausführungsform eines solchen Unterbrechers ist der Quecksilberunterbrecher.

Es ist wichtig, den im Induktor erzeugten sekundären Schließungsstrom möglichst niedrig zu halten, denn nicht nur der Öffnungsimpuls induziert einen Strom durch die Röntgenröhre, sondern es tritt auch ein Schließungsstrom auf, der — und das ist schädlich — in entgegengesetzter Richtung durch die Röhre geht. Solche Induktorapparate liefern maximal nur 5 Milliampère (= mA) Röhrenstrom, was letzten Endes darauf beruht, daß sie im Gegensatz zum Transformator einen offenen Eisenkern enthalten.

Gleichrichterapparaturen

Um den modernen Ansprüchen an eine Hochbelastung der Röhre genügen zu können, mußte man deshalb Transformator-Apparate mit Gleichrichtern konstruieren, bei denen primärseitig Wechselstrom zugeführt wird und sekundärseitig nicht ein verkehrt gerichteter Strom auftritt, und denen man höhere Stromstärken — wegen des geschlossenen Eisenkerns im Transformator — entnehmen kann. Bei diesen sogenannten Hochspannungsgleichrichtern erfolgt

das Richten des Stroms sekundärseitig und nach verschiedenartigen Prinzipien; die in der Praxis verwendeten Instrumentarien werden in Folgendem kurz besprochen.

a) Es gibt Hochspannungsgleichrichter mit rotierendem Hochspannungsumschalter (mechanischer Gleichrichter), bei welchen der die Röhre durchfließende

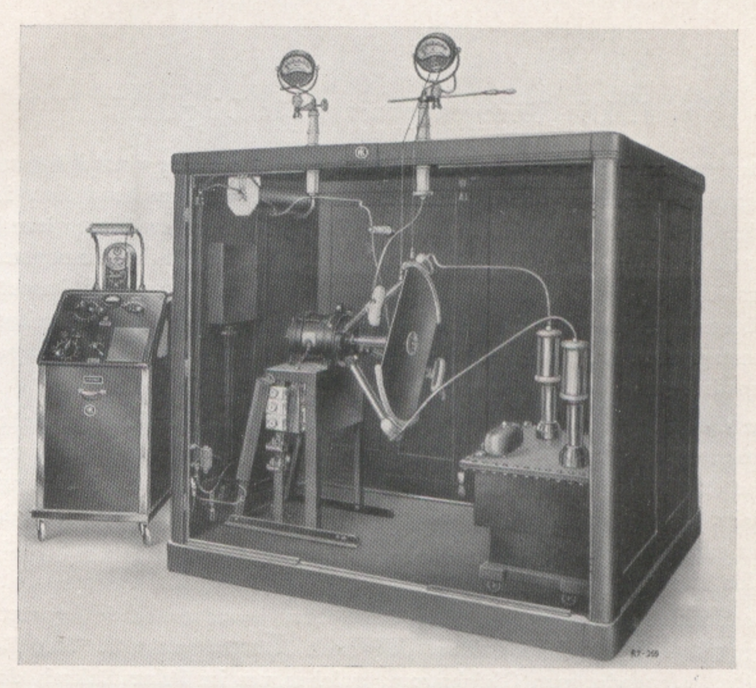


Abb. 29. Universal-Transverter-Röntgenapparat (Fa. Koch & Sterzel)

pulsierende Gleichstrom durch rotierende Kontaktelemente in geeigneter Weise den feststehenden Sekundärklemmen des Wechselstromtransformators entnommen wird (z. B. Siemens-Universal, Reiniger, Gebbert & Schall-Heliopan, Koch & Sterzel-Transverter, Sanitas-Motograph) (Abb. 29).

b) Neuerdings benutzt man Apparate mit Glühkathodenventilröhren. Bei ihnen wird der in dem Transformator erzeugte hochgespannte Wechselstrom mit Hilfe einer bestimmten Schaltung (*Graetz*sche Schaltung) von Glühventilröhren (Abb. 30) in gleich gerichteten pulsierenden Strom — unter Ausnutzung beider Halbwellen — verwandelt (z. B. Siemens-Polydor, Koch & Sterzel-Radio-Ventil, Sanitas-Novograph) (Abb. 30 und 31).

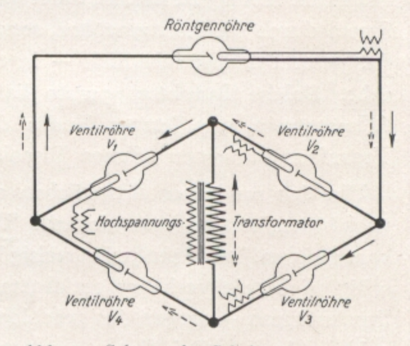


Abb. 30. Schema der Schaltung von Graetz

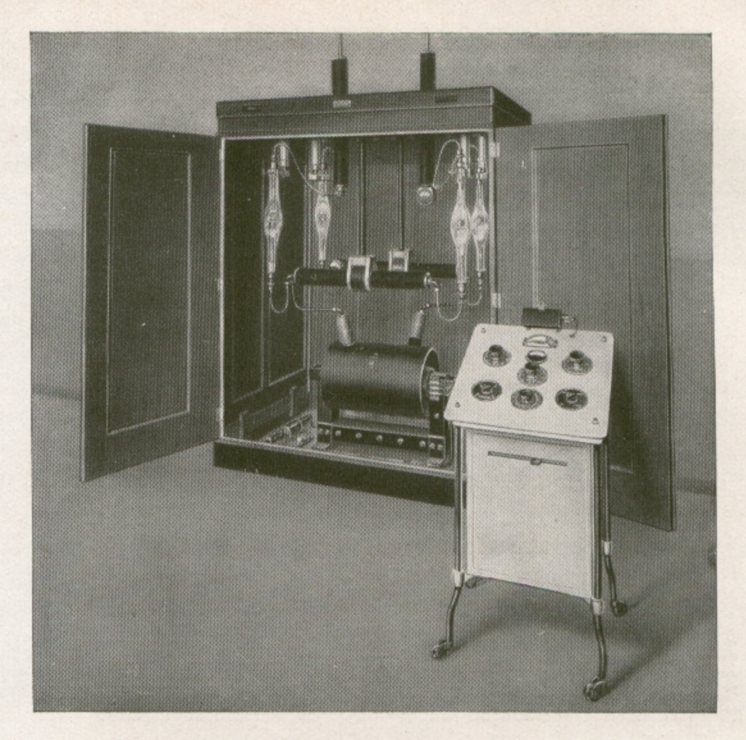


Abb. 31. Polydor-Ventilröhren-Röntgenapparat (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

Klein-apparaturen

c) Für Kleinbetriebe, z. B. für Zahnärzte, haben sich leicht handliche Apparate gut eingeführt, die ohne Unterbrechung oder Gleichrichter direkt an jede Wechselstromleitung angeschlossen werden können. Die Elektronen-Röntgenröhre wird an die unmittelbar von den Sekundärpolen des Hochspannungstransformators kommenden Leitungen angeschlossen. Die Röntgenröhre wirkt dabei selbst als Ventil, indem sie den falsch gerichteten Stromimpuls ohne besondere Vorrichtung selbst abdrosselt (z.B. Siemens-Explorator, Veifa-Heliodor, Koch & Sterzel-Autax, Sanitas-Cooli, Sanitas-Dental usw.) (Abb. 32).

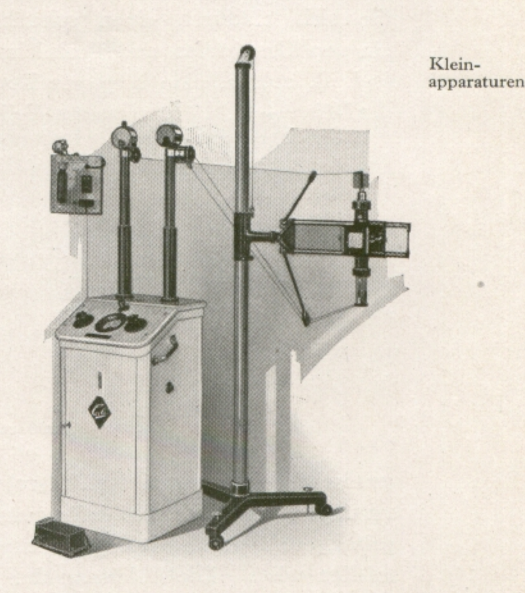


Abb. 32.
Klein-Röntgenapparat Cooli (Fa. Sanitas)

II. Die Röntgenröhren für Diagnostik

Die Praxis verwendet heutzutage zwei Typen von Röntgenröhren: die gashaltige Ionenröhre und die gasfreie Elektronen- (Glühkathoden-) Röhre (*Coolidge*). Die neuere Elektronenröhre hat trotz ihrer weit bequemeren Handhabung die Ionenröhre nicht verdrängen können, obwohl ein starker Rückgang in der Verwendung der Ionenröhre nicht zu verkennen ist.

Die Konstruktion der Röhren ist weitgehend ihrem Verwendungszweck angepaßt. Es gibt Röhren, die sich besonders für Durchleuchtungen eignen, neben solchen, die für Aufnahmen und neben anderen, die für Therapie-

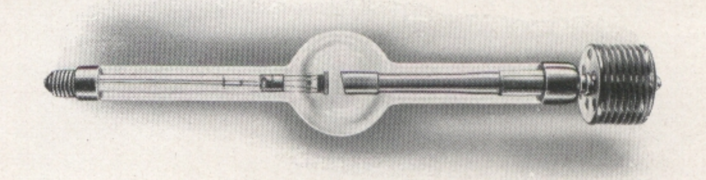


Abb. 33. Medor-Röntgenröhre mit Rippen-(Luft)kühlung (Fa. C. H. F. Müller)

behandlung bestimmt sind. Für Materialuntersuchungen oder für wissenschaftliche Zwecke existieren Spezialtypen, die es möglich machen, mit Röntgenstrahlen extremer Wellenlängen — sowohl äußerst harter wie äußerst weicher Strahlung — zu arbeiten.

Für die Zwecke der Röntgenphotographie kommen Röhren in Betracht, die sich 1. durch einen scharfen Brennpunkt auszeichnen und dadurch ein von Unschärfen und Verzeichnungen möglichst freies Bild gewährleisten (vgl. S. 20), 2. eine bequeme Regulierung und Einstellung des Härtegrades der Röhre — d. h. der mittleren Wellenlänge des in der Röhre erzeugten Strahlen-

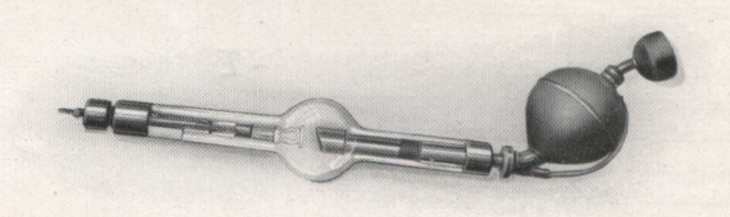


Abb. 34. Media-Röntgenröhre mit Siedekühlung (Fa. C. H. F. Müller)

gemisches — gestatten (vgl. S. 10) und 3. eine möglichst hohe Belastbarkeit vertragen, bei denen also dafür gesorgt wird, daß durch geeignete Brennfleckgebung und durch Kühlvorrichtungen ein Überhitzen der Antikathode vermieden wird. Die Ableitung der in der Antikathode erzeugten erheblichen Wärme wird in verschiedener Weise bewirkt. Die Prinzipien, die dabei zur Anwendung gelangen, lassen sich kurz bezeichnen als Luft- oder Siede-

kühlung. Bei der Metallkühlung sorgt ein die Antikathode (Wolfram) umgebender massiver Kupferblock mit Rippenkühler für die Wärmeabgabe an die Luft (Abb. 33).

Für hohe Belastungen verwendet man Röhren, bei denen die Antikathode hohl und mit Wasser gefüllt ist; die entstehende Wärme wird vom Wasser aufgenommen und zum Verdampfen desselben verbraucht (Abb. 34).

Bei den Gasröhren (Abb. 35) erfolgt der Stromdurchgang mit Hilfe der durch Elektronenstoß gebildeten Gas-Ionen. Das Gas wird jedoch allmählich beim Betrieb der Röhren von der Röhrenwand absorbiert und die Entladung und die Strahlenart hierdurch geändert. Eine gasarme Röhre, welche kurzwellige Strahlen aussendet, bezeichnet man als eine harte, eine gasreiche, welche langwellige Strahlen aussendet, als eine weiche Röhre. Um aus einem Ionen-Rohr immer ein Strahlengemisch gleicher Wellenlänge zu erhalten, muß daher durch Gaszufuhr der Verlust an Gas-Molekülen dauernd ausgeglichen werden. Dies geschieht durch geeignete Regenerier-Vorrichtungen. Die bekanntesten sind: Ionenröhren Regenerierung

a) die Osmo-Regulierung, darauf beruhend, daß glühendes Palladium-Metall für Wasserstoffgas durchlässig ist; die Röhrenfüllung besteht demnach in diesem Falle aus Wasserstoff statt aus Luft;

b) die Bauer-Regulierung, bei welcher mit Hilfe eines kleinen Gebläses atmosphärische Luft vermittels eines Quecksilberventils in geringen Mengen in die Röhre eingelassen wird;

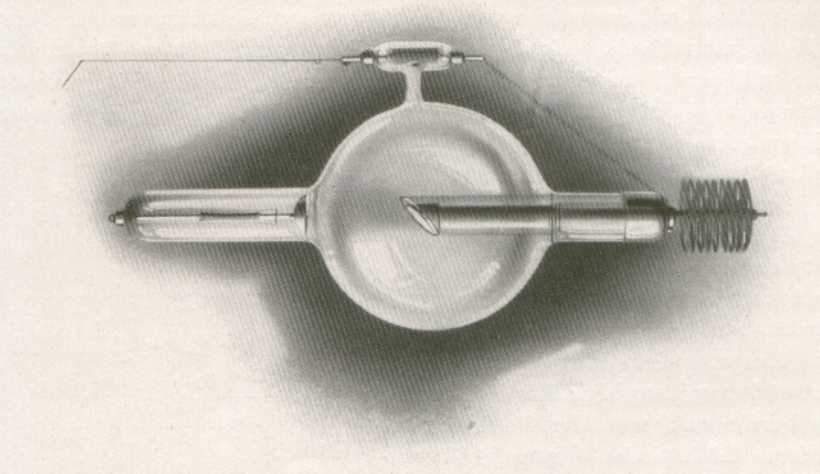


Abb. 35. Gasröntgenröhre mit Regenerier-Vorrichtung durch Nebenschluß (Fa. Koch & Sterzel)

c) die automatische Kondensator-Nebenschlußregulierung der Firma Gundelach. Hier wird der die Röhre speisende Strom, wenn die Röhre zu hart geworden ist, durch Funkenübergang automatisch über die Reguliervorrichtung geleitet und erhitzt deren Belegungen, die aus einem gasabgebenden Körper (Glimmer) bestehen. Ist die gewünschte Veränderung des Gasdruckes herbeigeführt, so hört der Funkenübergang und damit die Gasabgabe auf (Abb. 35).

Die Schärfe des Brennflecks wird bei Ionenröhren durch eine exakte Zentrierung des von dem gekrümmten Kathodenhohlspiegel ausgehenden Strahlenbüschels auf eine möglichst kleine Fläche der Anode erreicht. Je besser die Röhre „zentriert“ ist, also je kleiner diese Brennpunktfläche auf der Anode ist, um so schärfere Bilder können erzielt werden (vgl. S. 19).

Elektronen-röhren

Bei den gasfreien (Glühkathoden- oder Elektronen-) Röhren (vgl. Abb. 33 und 34) geschieht die Elektrizitätsleitung durch Elektronen, die an der Kathode aus einem auf etwa 2000^0 erhitzten, meist spiralförmigen Wolframdraht heraustreten. Die Geschwindigkeit dieser Elektronen wächst mit der an die Röhre gelegten Spannung; je schneller die Elektronen auf die Antikathode auftreffen, um so härter sind die dabei erzeugten Röntgenstrahlen. Einer bestimmten Spannung entspricht ein ganz bestimmter Härtegrad. Mit einer Regulierung der Spannung, also mit der Einstellung einer bestimmten Kilovoltzahl am Spannungsmesser, stellt man in einfachster Weise den jedesmal gewünschten Härtegrad der Röhre ein.

Je höher der Wolframdraht erhitzt wird, um so mehr Elektronen werden frei. Die Intensität des Röhrenstromes ist also abhängig von der Temperatur des Wolframdrahts, und diese läßt sich durch einen besonderen Heiztransformator leicht regulieren. Die Stromstärke im Rohr ist jedoch auf die Spannung, d. h. die Härte der Strahlung nicht ganz ohne Einfluß, der Härtegrad der Röhre stimmt deshalb immer nur für einen beschränkten Milliampèrebereich, da bei hohen Stromstärken die Spannung am Rohr abfällt.

Die Schärfe des Brennpunktes bei der Elektronenröhre hängt von der Form des Kathodenstrahlenbündels ab und wird bei den verschiedenen Röhrentypen durch geeignete Formgebung der Kathode erreicht. Gewöhnlich wird das Strahlenbüschel dadurch zentriert, daß man die Kathode — den weißglühenden Wolframdraht — mit einer Molybdänhülle umgibt und diesen Molybdänring mit der Kathode auf gleichem Potential hält. Dadurch werden die ausgesandten Elektronen in einem schmalen Bündel zusammengehalten, das nach der Antikathode hin gerichtet ist. Brennfleckgröße und -form hängen dann von der Anordnung jenes Metallringes, Form der Spirale und von der Entfernung zwischen Glühspirale (Kathode) und Antikathode ab. Bei den Röntgenröhren nach *Götze* (Fabrikant C. H. F. Müller, Hamburg) wird statt eines spiralförmigen ein geradliniger Glühdraht verwendet; ferner ist die Vorderfläche der Antikathode nicht wie in den sonst gebräuchlichen Röhren 45^0 zur Röhrenachse geneigt, sondern steht beinahe senkrecht auf der Röhrenachse (77^0), so daß in der Projektion des Hauptstrahles der von dem bandförmigen Kathodenstrahlenbündel hervor-

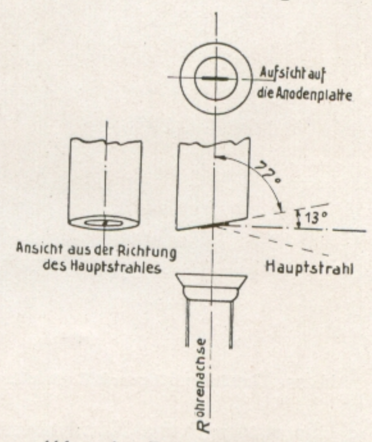


Abb. 36. Brennfleckbildung und Strahlengang der Strichfokusröhren

gerufene strichförmige Fokus zu einem Punkt verkürzt erscheint (Abb. 36). Auf diese Weise entsteht ein Brennfleck von außerordentlicher Schärfe, der trotzdem sehr hoch belastet werden kann, weil seine tatsächliche Größe vielmals größer ist, als die eines runden Brennflecks gleicher scheinbarer Größe. Je nach der Höhe der (in Kilowatt gemessenen) Belastung, die der Fokus der Röhre aushalten soll, kann er verschiedene Größen erhalten. Letzteres gilt natürlich auch von den Rundfokusröhren. Die Firmen geben ihren Röntgenröhren eingehende Belastungsangaben mit.

Um die gleiche Röhre mit kleinem Fokus (für scharfe Aufnahmen) und mit großem Fokus (für Hochleistungsaufnahmen) verwenden zu können, hat die Firma Phönix die Dofok-Röhre konstruiert, deren Kathode zwei Glühfäden besitzt, die wahlweise benutzt werden können. Erwähnt sei noch, daß neuerdings sogenannte Metallröntgenröhren (Philips-Metallix-Röhren) hergestellt werden, die weitgehend aus Metall bestehen und zylindrische Form haben.

Da durch die Röntgenröhre stets nur Ströme in einer Richtung fließen sollen, aber das mit Unterbrecher versehene Induktorium oder der im Transformator erzeugte Wechselstrom Stromstöße beider Richtungen liefern, schaltet man sogenannte Ventilröhren vor die Röntgenröhre. Die Glühkathodenventilröhre besitzt zwei Elektroden; die eine besteht aus einem Glühdraht, der durch einen Heiztransformator zum Glühen gebracht wird, die andere ist ein Metallblech. Wird die erste Elektrode als Kathode benutzt, so bietet diese Röhre bei starker Heizung selbst einem großen Stromdurchgang nur sehr geringen Widerstand, aber umgekehrt einen sehr großen, wenn der Glühdraht als Anode verwendet wird. Es wird daher nur die eine Phase des Wechselstroms durchgelassen. Die starke Heizung des Ventilrohres hat zur Folge, daß sich an ihr kein merklicher Spannungsabfall ausbilden und daher keine Röntgenstrahlung entstehen kann. Zwar würde auch die Röntgenröhre selbst diese Abdrosselung bewirken können, doch würde sie dabei geschädigt werden (vgl. S. 37). Ventilröhren

III. Die Zusatzeinrichtungen für Diagnostik

Um die durch die Röntgenröhre gehende Stromstärke zu bestimmen, ist bei den Röntgenanlagen stets ein Milliampèremeter in den Röhrenstromkreis geschaltet. Zweckmäßig besitzt dies umschaltbare Meßbereiche von 1 bis 10, 10 bis 100, und 100 bis 1000 mA. Die Größe der in der Röhre erzeugten Strahlenenergie ist proportional der Milliampèrezahl und der Zeit, vorausgesetzt, daß die Spannung konstant gehalten wird. Bei konstant gehaltener Stromstärke dagegen ist die Strahlungsenergie, wie empirisch festgestellt, proportional dem Quadrat der Spannung. Dies gilt alles nur in bezug auf eine bestimmte Apparatur und eine bestimmte Röhre, denn der absolute Wert der Strahlenenergie hängt auch noch von der Röhre und Apparattyp ab. Die Ablesungen am Milliampèremeter sind somit nur relativ, d. h. als gültig für denselben Apparattyp und dieselbe Röhre zu bewerten. Milliampèremeter

Voltmeter Die Exposition wird durch das Produkt Milliampère × Zeit gegeben, aber nur dann, wenn dafür gesorgt wird, daß die Spannung konstant bleibt (vgl. S. 50). Es ist nämlich zu beachten, daß bei größeren Röhrenströmen und entsprechend verkleinerten Zeiten die Spannung am Röntgenrohr abzufallen pflegt, was durch entsprechende Spannungsregulierung auszugleichen ist. Die Einstellung der gewünschten Milliampèrezahl geschieht bei den Elektronenröhren durch Regulierung der Heizung, die ihrerseits durch ein Heizstromampèremeter im Heizstromkreis der Glühkathoden kontrolliert wird. Die Einstellung der Spannung ist dadurch möglich, daß sich bei den modernen Apparaturen im primären Stromkreis ein auf die Sekundärspannung umgerechnetes Kilovoltmeter befindet, an dem man die Röhrenspannung ablesen kann. Auch die so ermittelte Röhrenspannung ist nur als relativ, d. h. als für denselben Apparaturtyp gültig zu bewerten. Bei neuesten Apparaturen stellt man nur die Primärspannung (Volt) ein und entnimmt die kV-Werte einer Tabelle, die zu dem Apparat geliefert wird.

Funkenstrecke An Apparaturen älterer Konstruktion, wie z. B. den Induktorapparaten, bediente man sich zur Messung der Röhrenspannung einer verstellbaren, zur Röhre parallel geschalteten Funkenstrecke, wobei die von Kugel zu Kugel (bzw. von Spitze zu Platte) in Millimetern gemessene Strecke, die von der Hochspannung noch gerade durchschlagen wird, ein Maß für die Spannung lieferte.

Tabelle 4.

Spannungen und Schlagweiten für Kugelfunkenstrecken in mm nach dem American Institute of Electrical Engineers 1915.

Kilovolt		Kugeldurchmesser 2 Kugeln geerdet	
Scheitelwert	Effektivwert	62,5 mm	125 mm
14,1	10	4,2	—
28,3	20	8,6	—
42,4	30	14,1	14,1
56,5	40	19,1	19,1
70,7	50	25,0	24,4
84,8	60	32,0	30,0
99	70	39,5	36,0
113	80	49,0	42,0
127	90	60,5	49,0
141,4	100	—	55,0

Unter Scheitelwert versteht man den Höchstwert der Spannungshalbwelle, unter Effektivwert den für die Praxis in Frage kommenden Mittelwert.

Es seien noch einige frühere Methoden der Spannungsmessung erwähnt, die allerdings von sehr zweifelhaftem Wert sind.

Die älteste und einfachste Methode zur Bestimmung der Strahlenhärte besteht darin, die Hand für einen Augenblick zwischen Röhre und Fluoreszenzschirm zu halten und aus der Qualität des Bildes zu schließen, ob die Strahlen weich, mittelhart oder hart sind. Die Gefahr einer Hautverbrennung bei häufiger Anwendung dieser Manipulation zwang dazu, diese Kontrolle der Strahlenhärte sehr bald aufzugeben.

Die früher ebenfalls viel verwendeten, heute als veraltet und überholt anzusehenden Härtemesser von *Benoist*, *Wehnelt*, *Walter* usw. benutzen die Schwächung der Röntgenstrahlen durch Metallbleche verschiedener Dicke zur Ermittelung der Strahlenhärte und vergleichen die Eindrücke, welche auf einem Fluoreszenzschirm oder auf einer photographischen Platte nach dem Durchgang durch einen Aluminiumkeil hervorgerufen werden, mit demjenigen Eindruck, den ein Silberstreifen bestimmter Dicke hinterläßt (vgl. S. 16). Härtemesser

Solche Härtemesser geben nur Näherungswerte und um so ungenauere Resultate, je härter die zu bestimmende Strahlung ist. Besonders für die Zwecke

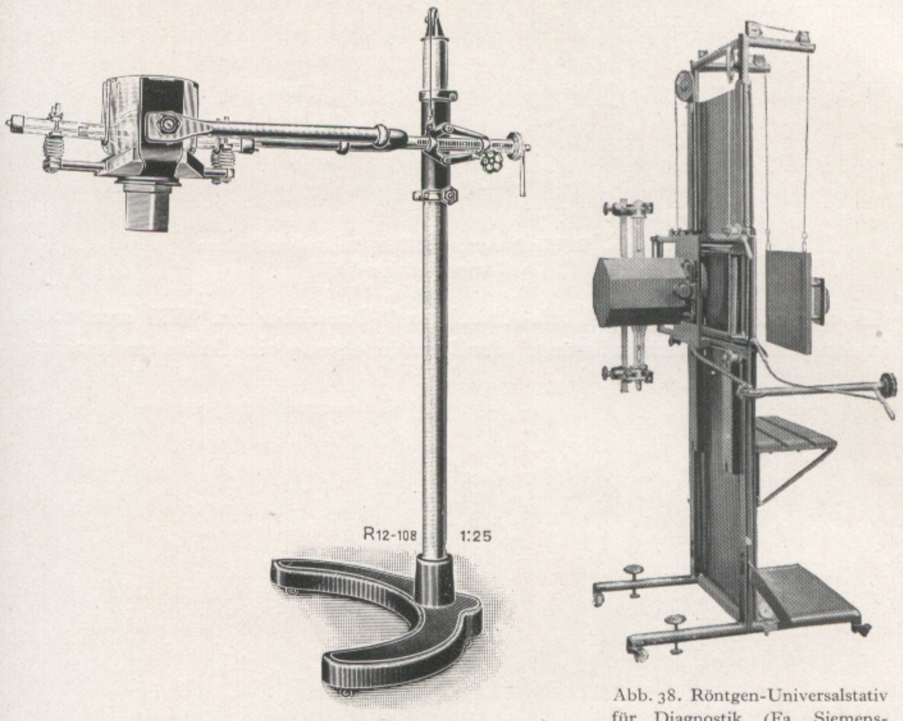


Abb. 37. Röntgenröhrenstativ (Fa. Koch & Sterzel)

Abb. 38. Röntgen-Universalstativ für Diagnostik (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

der Röntgentherapie ist aber heute eine zuverlässige Feststellung der Härte der Strahlen ein unbedingtes Erfordernis geworden, und es ist auch der Technik gelungen, für die spektrographische Messung der Spannung Apparate zu konstruieren, deren Anwendung freilich eingehendere Kenntnis der Röntgenphysik verlangt, bei einiger Übung aber auch Laien eine einigermaßen exakte Bestimmung der Strahlenqualität gestattet. Die besten Resultate gibt jedoch stets die oben erwähnte Kugelfunkenstrecke.

Wenden wir uns nun den weiteren Zusatzeinrichtungen eines diagnostischen Betriebes zu, so interessiert uns zunächst die Befestigung des Röntgenrohres. Sie geschieht an einem Stativ, das dem Rohre verschiedene Lagen zu geben gestattet. Abb. 37 zeigt ein einfaches Stativ für Aufnahmen, Abb. 38 ein Stativ und Zubehör

sehr vielseitiges, welches zugleich für Durchleuchtungen dient, durch Umkippen in einen Lagerungstisch verwandelt werden kann und somit auch für

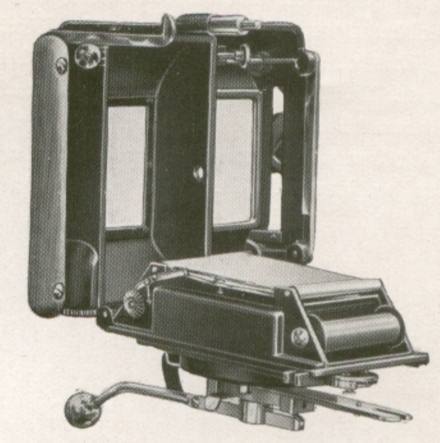


Abb. 39. Rollfilmkassette (geöffnet) für Serienaufnahmen
(Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

die sogenannten „Unter-Tisch-Aufnahmen“ brauchbar ist. Will man z. B. in einem solchen Stativ sofort nach der Durchleuchtung eine Aufnahme machen,

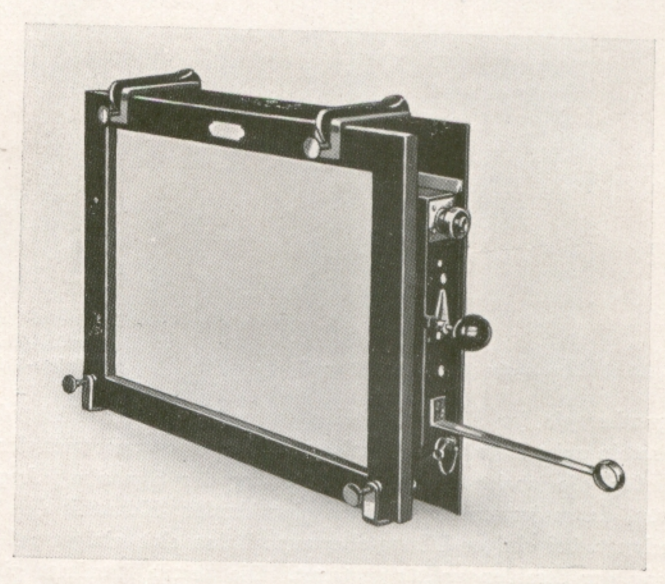


Abb. 40. Gabriel-Filmkassette in Verbindung mit Leuchtschirm
(Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

so gibt es hierfür die Wechselrahmen, bei denen man mit einem Griff den Durchleuchtungsschirm mit der photographischen Platte vertauschen kann. Neuerdings hat man diese Vorrichtungen zur Herstellung sogenannter „Ziel-

aufnahmen" ausgebaut, bei denen bestimmte Körperpartien, z. B. das Duodenum, unmittelbar nach der Betrachtung in einem bestimmten Bewegungszustand photographisch festgehalten werden können; bei diesen Zielvorrichtungen ist ein doppelseitiger Röntgen-Rollfilm in einer Kassette untergebracht, die mit einem Leuchtschirm verschiebbar ist, so daß Serienaufnahmen kleiner Körperbezirke sofort im Anschluß an die Durchleuchtung möglich sind (Abb. 39 u. 40). Zielaufnahmen

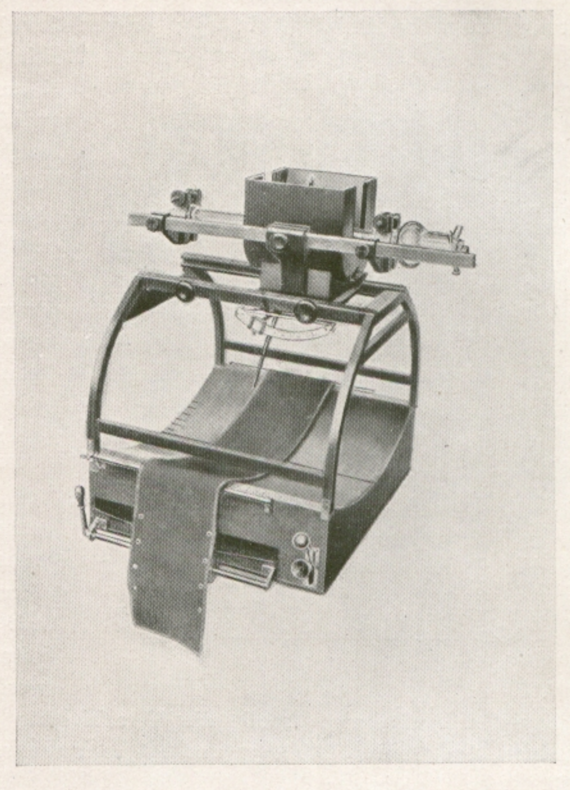


Abb. 41. Bucky-Blende in Verbindung mit der Röhre (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

Sekundärstrahlung

Einer der wichtigsten Gesichtspunkte bei der Aufnahmetechnik ist die Vermeidung der verschleiernden Streustrahlung. Es geschieht dies zunächst durch Abblendung des Strahlenbündels auf die notwendige Größe, sodann aber bei der Aufnahme größerer Körpermassen mit Hilfe der Bucky-Potter-Blende; sie besteht, wie im theoretischen Teil (S. 18) erörtert wurde, aus einem Bleiraster, dessen Streifen so gestellt sind, daß sie die Richtung des primären Strahlenbündels haben und nur diese hindurchlassen, während die nach allen Richtungen gehende Streustrahlung in ihnen vernichtet wird. Wird diesem Raster eine seitliche Bewegung während der Aufnahme erteilt, so verschwindet das störende Rasterbild auf der Aufnahme. Die fertige Ausführungsform des Apparates zeigt Abb. 41. Statt der seitlichen Bewegung kann man dem Raster, wenn es spiralförmig oder radial angeordnet wird, eine rotierende Bewegung geben (*Åkerlund*, *Siemens*, Abb. 42). Nicht bewegt wird das Raster bei der

Abb. 42. Drehblende (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

„Fächerblende" von *Mannl*, bei der die Anordnung des Rasters so getroffen ist, daß seine Abbildung nur wenig störend wirkt.

Betrachtungskasten

Die fertigen gewöhnlichen Negative werden zweckmäßig an einem Betrachtungskasten besichtigt (Abb. 43); er enthält eine Mattscheibe, die von hinten mit Lampen regulierbarer Lichtstärke beleuchtet wird. Dies ist wichtig, denn bei stark gedeckten oder verschleierten Negativen kann man mit stärkerer Beleuchtung den gleichmäßigen Schleier kompensieren, so daß die Bildkontraste für das Auge gut sichtbar werden. Durch verschiedene Vorhänge kann man ferner das Betrachtungsgebiet beliebig abgrenzen und so jedes störende Licht vermeiden.

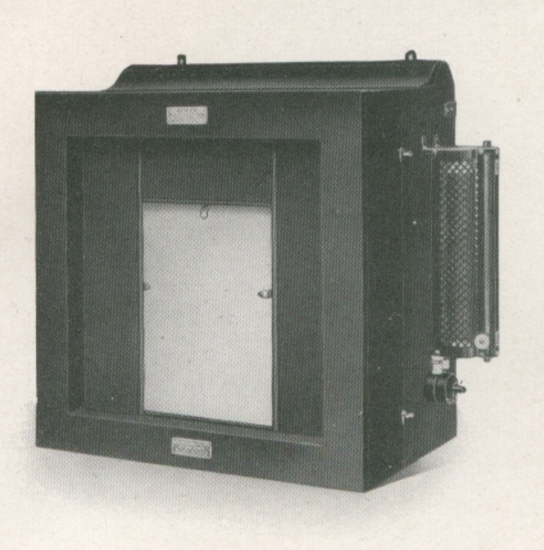


Abb. 43. Betrachtungskasten (Fa. Klaes, Köln)

Von weiteren Einrichtungen für Aufnahmen seien noch erwähnt, die in Abb. 41 dargestellte Laufvorrichtung, mit deren Hilfe die Röhre parallel mit sich selbst um eine bestimmte Strecke verschoben werden kann. Für stereoskopische Aufnahmen muß die Verschiebung der Röhre jedoch vermittels des Stativs (Abb. 37 und 38) vorgenommen werden (vgl. S. 21). Es gibt geeignete Spiegelapparate, die die notwendige gleichzeitige Betrachtung der beiden Negative ermöglichen (Abb. 44a). (Vgl. auch S. 22.) Ein vorzügliches und sehr bequemes Hilfsmittel zur Betrachtung von Stereoaufnahmen ist das von den Elektromedizinischen Werkstätten, München, hergestellte Stereo-Binokel (Abb. 44b).

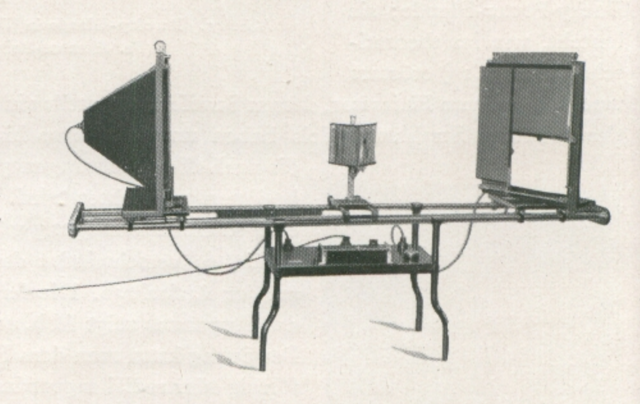


Abb. 44 a. Betrachtungsapparat für Stereoaufnahmen

Strahlenschutz

Die schädigende Wirkung der Röntgenstrahlen erfordert umfangreiche Schutzmaßnahmen, teilweise setzen diese schon an der Röhre

selbst ein. Es ist neuerdings bei den Strahlenschutzröhren gelungen, durch geeignete Ausbildung der Antikathode (Lochfenster Abb. 45 u. 46) oder durch Umgeben der Röhre mit einem strahlensicheren Schutzmantel mit verschiebbarer Öffnung (Abb. 47) die allseitig aus der Antikathode austretende Strahlung auf die notwendige primäre Nutzstrahlung zu beschränken. Bei den gewöhnlichen Röntgenröhren verwendet man Einlagerung in einem Bleiglas (Abb. S. 37) oder Bleigummitubus (Abb. S. 41). Damit sind jedoch die Gefahren für Arzt und Personal nicht ganz beseitigt, da der Körper des Patienten während der Aufnahme eine Streustrahlenquelle darstellt. Deshalb stellt man den Bedienungstisch der Röntgenapparatur hinter eine bewegliche Bleiwand, sicherer ist jedoch völlige Abtrennung von Bedienungs- und Bestrahlungsraum durch strahlensichere Wände, die aus einer Mischung von Baryt und Zement bestehen (*Kaempe-Lorey*). Um in den Aufnahmeraum hineinsehen zu können, befindet sich in der Nähe des Schalttisches ein Fenster aus Bleiglas, um mit dem Patienten in akustischer Verbindung zu bleiben, ein Mikrophon oder Sprachrohr.

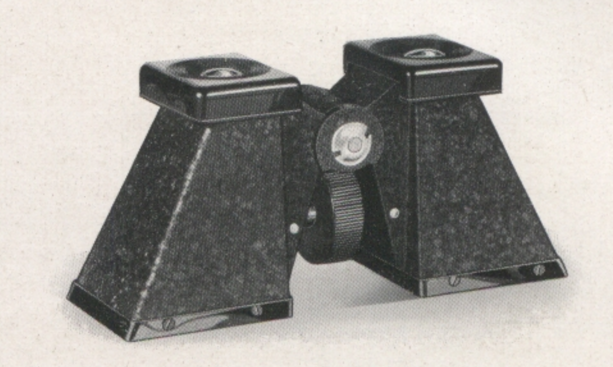


Abb. 44b. Stereobinokel zur Betrachtung von Röntgenstereobildern (Fa. Elektromed. Werkstätten, München)

Ferner sei erwähnt, daß man zum Schutz des Patienten die aus dem Röntgenrohr austretende Strahlung fast stets durch 0,5 mm Al filtert, da hierdurch die allerweichsten Strahlen absorbiert werden. Sie würden auch im Körper des Patienten absorbiert werden und daher doch nicht auf die photographische Platte gelangen.

Zur Beurteilung der Schutzwirkung verschiedener Materialien diene folgende Übersicht:

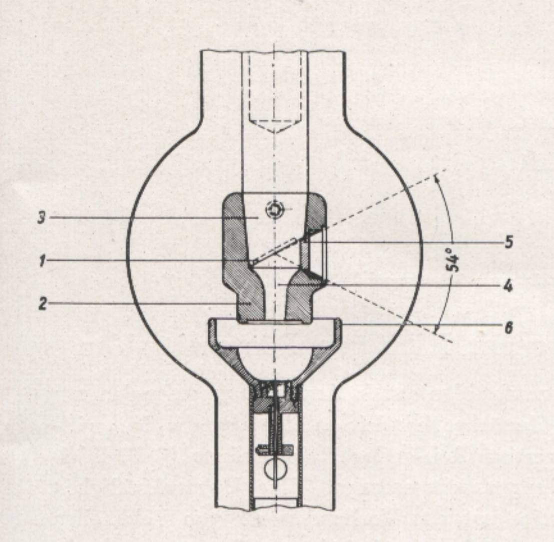


Abb. 45. Schematische Darstellung des Innern eines Strahlenschutzrohres (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

1 mm	Bleiglas	ist äquivalent	0,12—0,20	mm Blei
1 mm	Bleigummi	,, ,,	0,25—0,45	mm ,,
1 mm	Barytstein	,, ,,	0,1	mm ,,
1 mm	Ziegelstein	,, ,,	0,01	mm ,,
1 mm	Holz	,, ,,	0,001	mm ,,

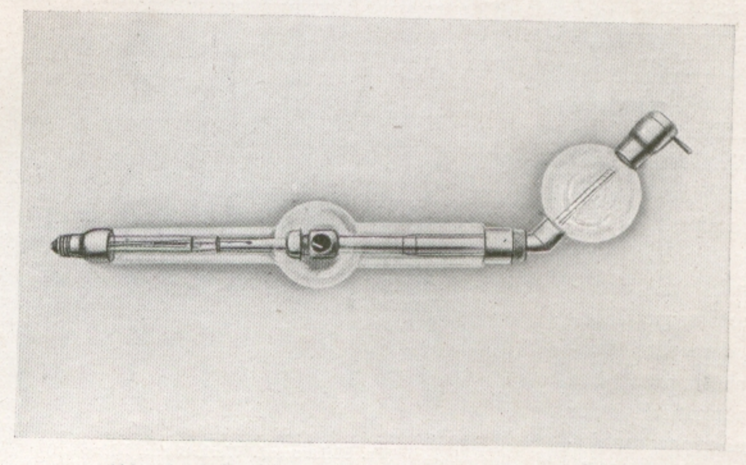


Abb. 46. Außenansicht eines Lochfenster-Strahlenschutzrohres (Fa. Siemens-Reiniger-Veifa)

Für die in der Diagnostik verwendeten Strahlen sind 2—3 mm Blei als Schutz ausreichend, während in der Therapie wegen der härteren Strahlung ein stärkerer Schutz nötig ist (mindestens 4 mm Blei).

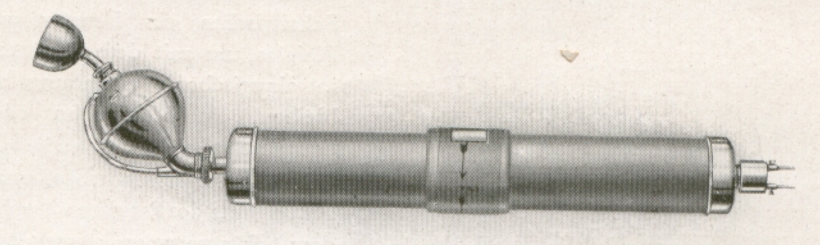


Abb. 47. Röhre mit strahlensicherem Schutzmantel (Fa. C. H. F. Müller)

IV. Materialuntersuchung mit Hilfe von Röntgenstrahlen

Direkte Untersuchung

Neuerdings haben die Röntgenstrahlen auch Anwendung gefunden zur Untersuchung von Materialien. Zunächst handelt es sich um die Materialdurchleuchtung, bei der hochwertige Roh- oder Halbfabrikate (z. B. Edelstahle) auf Fehleinschlüsse hin untersucht werden. Eine Unregelmäßigkeit in der Schwärzung der Platte weist auf das Vorhandensein von Fehlstellen hin (vgl. Abb. 48). Bei größeren Stücken und höheren Spannungen tritt starke Streustrahlung auf, die man in ähnlicher Weise beseitigt wie bei

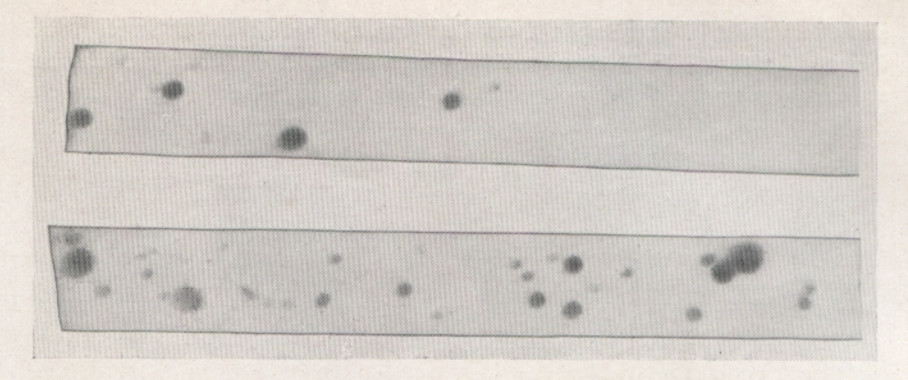


Abb. 48. Fehleinschlüsse in einem Metallstück (Fa. C. H. F. Müller)

medizinischen Aufnahmen. Die Grenzen dieser Prüfmethoden liegen für Aluminium bei etwa 15 cm, bei Stahl bei etwa 3 cm Dicke, da man mit der Spannung bei den heutigen Röntgenröhren nicht wesentlich über 210 kV gehen kann und somit in der Strahlenhärte beschränkt ist.

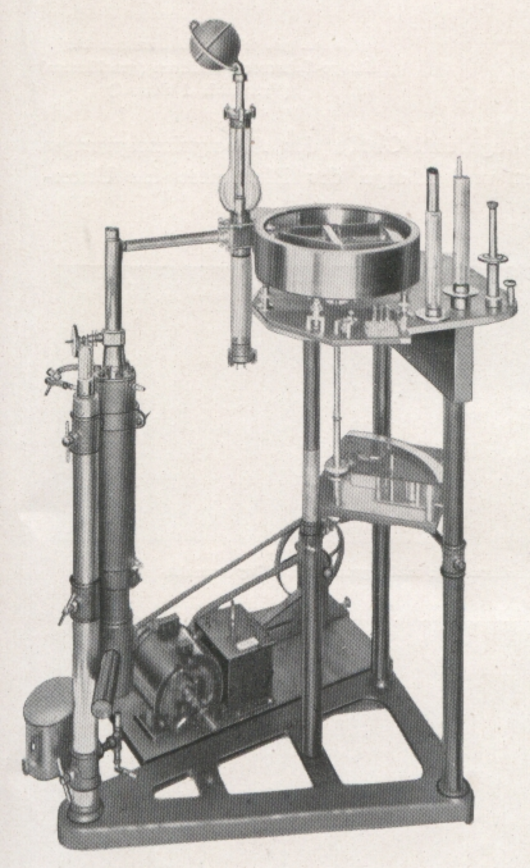


Abb. 49. Vakuum-Röntgenspektograph (Prof. Seemann, Freiburg)

Röntgen-spektroskopie

Eine weitere Methode der Materialuntersuchung mit Röntgenstrahlen beruht auf der Eigenstrahlung der chemischen Elemente; es wird das Material auf die auswechselbare Antikathode einer an eine Luftpumpe angeschlossenen Röntgenröhre gebracht, und die Strahlung mit einem Spektrographen aufgenommen, dessen Hauptteil der Kristall ist, der die Strahlung spektral zerlegt (vgl. S. 11). Den Spektrographen hat man jetzt zu Vakuumspektrographen ausgebaut, um auch ganz weiche Eigenstrahlungen, die durch Glas und Luft absorbiert werden, noch erfassen zu können. Abb. 49 zeigt eine derartige Universal-Apparatur.

Eine andere Untersuchungsmethode mit Röntgenstrahlen beruht darauf, daß die chemischen Elemente bestimmte für sie

charakteristische Wellenlängen besonders stark absorbieren. Man läßt bei diesem Verfahren die Röntgenstrahlung erst durch eine dünne Schicht der zu untersuchenden Substanz gehen und zerlegt sie dann spektral in der

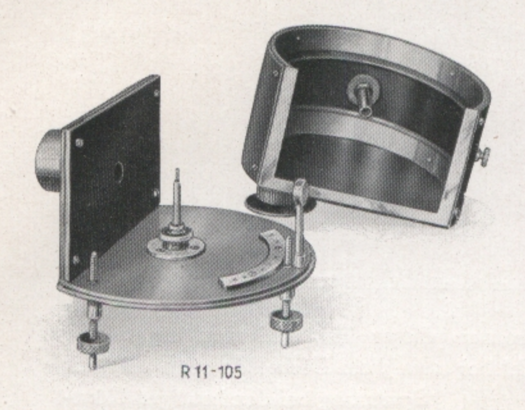


Abb. 50. Aufnahmekammer für Debye-Scherrer-Verfahren (offen) (Fa. Koch & Sterzel)

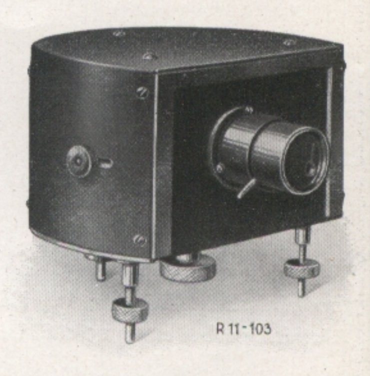


Abb. 51. Aufnahmekammer für Debye-Scherrer-Verfahren (geschlossen) (Fa. Koch & Sterzel)

gleichen Weise wie vorher. Aus Lage und Größe des Absorptionssprunges im Photogramm ergeben sich Art und Menge des Elementes im Untersuchungsmaterial.

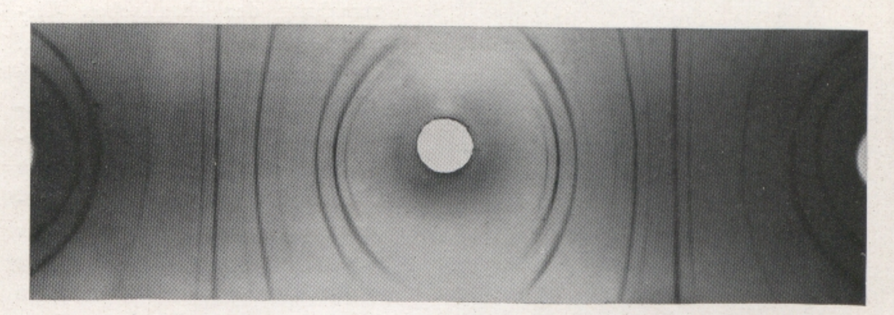


Abb. 52. Debye-Scherrer Aufnahme von nicht gezogenem Kupferdraht

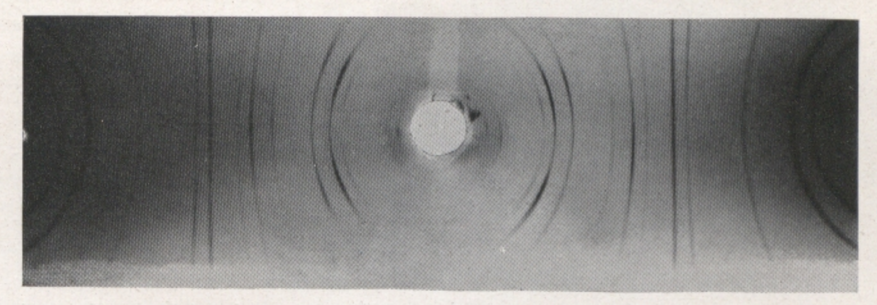


Abb. 53. Debye-Scherrer-Aufnahme von gezogenem Kupferdraht

Bei diesen Methoden diente der Kristall zur spektralen Zerlegung der unbekannten Röntgenstrahlung. Man kann nun das Verfahren gewissermaßen umkehren, indem man eine spektrale Strahlung durch das unbekannte Untersuchungsobjekt schickt, sofern dies kristallinischen Aufbau hat; aus dem entstandenen Photogramm kann man den Aufbau des Kristalls erschließen. Am bekanntesten ist das Debye-Scherrer-Verfahren, bei dem annähernd homogene Röntgenstrahlung auf den zu untersuchenden Kristall in pulveresierter Form auffällt. Abb. 50 und 51 zeigen eine geeignete Aufnahmekammer für dies Verfahren. Abb. 52 gibt die Aufnahme eines normalen Kupferdrahtes, dessen Gefüge einem willkürlich orientierten Kristallpulver entspricht. Die Aufnahme zeigt gleichmäßig geschwärzte Ringe. Abb. 53 ist an einem hartgezogenen Kupferdraht gewonnen, dessen Kristallite sich beim Ziehprozeß in bestimmter Weise gerichtet haben, was durch die regelmäßig angeordneten Verdichtungen auf den sonst gleich gelagerten Ringen zum Ausdruck kommt.

V. Das photographische Aufnahmematerial und die Verstärkungsfolien

Es leuchtet unmittelbar ein, daß das Bild auf der Trockenplatte oder dem Film für die Diagnose viel mehr sagt als das Schirmbild. Viele Einzelheiten, die auf dem Schirm nicht oder nur schlecht sichtbar sind, weil das Schirmbild flach graduiert ist, zeigt das kontrastreichere Röntgenphotogramm in großer Deutlichkeit. Außerdem ist das Bild unbegrenzt aufzubewahren, was für die Zwecke der Diagnose und zur Verfolgung einer Krankheitsgeschichte oft von unschätzbarem Werte ist.

Die Agfa-Röntgenplatte

Die Agfa-Röntgenplatte stellt ein hochwertiges Röntgenaufnahmematerial dar. Ihre hohe Empfindlichkeit nicht nur gegen Röntgenstrahlen, sondern auch gegen das Fluoreszenzlicht der Röntgenverstärkungsschirme macht sie in gleicher Weise geeignet für Aufnahmen mit und ohne Verstärkungsfolien. Mit guten Verstärkungsfolien läßt sich die Belichtungszeit einer Röntgenplatte auf etwa den 8. bis 10. Teil herabsetzen (vgl. S. 29).

Der doppelseitig begossene Agfa-Röntgenfilm

Einen erheblichen Fortschritt in der Technik der Röntgenaufnahmen stellt der zweiseitig begossene Agfa-Röntgenfilm dar (vgl. S. 27). Wegen der Addition der beiden durch die Zelluloidschicht getrennten Bilder, die bei der Betrachtung exakt aufeinanderfallen, ist bei diesem Aufnahmematerial eine Empfindlichkeitssteigerung und Erhöhung der Kontrastwirkung auf das doppelte erreicht. Dadurch liefert der Doppelfilm eine Vergrößerung der Brillanz der Aufnahmen (vgl. S. 28). Ferner hat der Doppelfilm vor der Platte den Vorteil, daß er unzerbrechlich und von erheblich geringerem Gewicht, also weit transportabler als die Platte ist. Ein weiterer Vorzug liegt darin, daß man durch Verwendung von zwei Verstärkungsfolien gegenüber einer Folienaufnahme auf Röntgenplatte bei gleicher Röhrenbelastung 75% an Belichtungszeit erspart. Auch die Möglichkeit, sich mühelos beliebiger Größen von doppel-

seitig begossenem Röntgenfilm aus größeren Stücken herauszuschneiden, bedeutet für den Arzt eine große Erleichterung. Beide Oberflächen sind einer Präparation unterzogen, die einen ausgezeichneten Schutz der lichtempfindlichen Schicht gegen mechanische Beschädigung bildet und ferner die Brillanz des Bildes erhöht (vgl. Abb. 19 auf S. 27).

Jedes Blatt des doppelseitig begossenen Agfa-Röntgenfilms befindet sich in der Packung zwischen einem zusammengefalteten Stück dünnen schwarzen Papiers. Um den Film vor dem Befassen und Zerkratzen zu schützen, wird er mit dem Schutzpapier zusammen aus der Packung herausgenommen. Bei Aufnahmen mit Verstärkungsfolien muß nach Entfernung des Schutzpapieres der Film so zwischen die Folien gelegt werden, daß Folie und Film stets Schicht an Schicht liegen.

Der Agfa-Zahnfilm

Eine besondere Anwendungsform des Röntgenfilms bildet der Agfa-Zahnfilm (vgl. theoretischen Teil, S. 36). Die Agfa-Zahnfilmpackung enthält zwei einfach bzw. doppelt begossene Filmstücke 3×4 oder 4×5 cm mit abgerundeten Ecken. Den Rand der Packung bildet ein Ring aus schmiegsamem Material, der der Zahnfilmpackung so viel Formbarkeit verleiht, daß sie jeder Wölbung des Kiefers durch leichten Druck angepaßt werden kann und die hierdurch gegebene Gestalt während der Aufnahme unverändert bleibt. Die Packung ist mit rotem Papier verschlossen und wird durch einen von Feuchtigkeit und Speichel nicht angreifbaren Klebstoff völlig licht- und wasserdicht zusammengehalten. Vor dem Entwickeln wird die Packung in der Dunkelkammer durch Abreißen einer überstehenden Zunge des herumgeklebten Papieres leicht geöffnet. Der doppelt begossene Zahnfilm hat zur leichteren Orientierung ein Loch, dem auf der Packung ein schwarzer Punkt entspricht. Ist z. B. der schwarze Punkt bei der Aufnahme vom Arzt aus gesehen rechts oben, so muß auch das fertige Negativ so betrachtet werden, daß das Loch oben erscheint.

Agfa-Verstärkungsfolien

Die Schicht der Agfa-Verstärkungsfolie besteht aus Calciumwolframat, das die Unterlage mit gleichmäßiger, glatter Oberfläche bedeckt. Alle Anforderungen, die man an eine gute Verstärkungsfolie stellen kann, sind hier erfüllt; Kornlosigkeit, glatte und fehlerfreie Oberfläche und Ausbleiben des Nachleuchtens. Die Folie ist abwaschbar und läßt auch bei sehr langem Gebrauch in ihrer Wirkung nicht nach.

Aufbewahrung

Die Aufbewahrung der Röntgenplatten und Röntgenfilme geschieht zweckmäßig an einem nicht zu warmen, trockenen Ort. Die Agfa-Röntgenfilms sind bei richtiger Aufbewahrung bis zu dem auf der Packung vermerkten Datum, meist aber auch darüber hinaus verwendbar. Es ist natürlich besonders darauf zu achten, daß das Aufnahmematerial absolut sicher gegen Röntgenlicht geschützt gehalten wird. Eine Mauer allein bietet keine genügende Sicherheit. Auch Schränke, die in ihrem Innern mit Bleiplatten verkleidet sind, geben nur einen relativen Schutz; denn die Erfahrung hat gezeigt, daß die photographische Schicht sogar noch Schwärzung erhalten kann, wenn sich die Strahlenquelle hinter Bleiplatten in einiger Entfernung von ihr befindet. Der Grund für solche Erscheinungen ist wesentlich in der langdauernden Ein-

wirkung der Strahlen während des Aufbewahrens der Platten zu suchen. Man sollte daher die Lagerung des Aufnahmematerials in der Nähe des Instrumentariums prinzipiell vermeiden. Manche Klagen und Beschwerden über schleierige Platten und Films, die die Verbraucher an die Hersteller richten, sind auf solche Vorbelichtung durch vagabundierende Röntgenstrahlen zurückzuführen. — Eine andere Fehlerquelle entsteht mitunter auch durch Hochspannungsentladungen, die auf die Emulsion einwirken und die sich auf der entwickelten Platte als blitzähnliche Figuren, schwarze Flecke, Punkte und Streifen bemerkbar machen. Die Aufbewahrung von Röntgenplatten oder Röntgenfilms geschieht demnach am besten in Bleischränken außerhalb des Röntgenlaboratoriums, fern von Hochspannungsleitungen, in trockenen und nicht zu warmen Räumen. Das gleiche gilt für die Aufbewahrung der Folien.

Es ist streng zu beachten, daß eine einfache Umhüllung mit schwarzem Papier die lichtempfindliche Schicht gegen Tageslicht durchaus nicht schützt. Das Papier hat nämlich häufig kleine Löcher, durch die etwas Licht eindringen kann. Man wird also tunlichst auch Platten, die sich in guten Einzelpackungen befinden, nicht unnötig dem hellen Licht aussetzen.

VI. Die Exposition von Röntgenaufnahmen

Expositionstabelle

Expositionstabelle
für Agfa-Röntgenfilm

Objekt	Abstand in cm	Härte (Kilovolt)	Milliampère	Expositionszeit (Sekunden) ohne Folie	mit zwei Folien	mit zwei Folien und Buckyblende
	I	II	III	IV	V	VI
Schädel von vorn ..	60	53—55	20			3—4
„ seitlich	60	51—53	20			2—3
Wirbelsäule von vorn	60	52—58	20			3—5
„ seitlich .	60	55—60	20			5—8
Lunge	60	53—56	80—100		0,1—0,2	
Lunge, Herz (Fernaufn.)	150	53—57	250—280		0,2—0,3	
Magen	60	62—67	150		0,2—0,3	
Darm	60	62—67	150		0,2—0,3	
Niere, Blase	60	50—54	20			3—5
Becken	60	52—58	20			3—5
Knie, Unterschenkel	50	46—47	20	2,5—3,5		
Fußgelenk	50	45—46	20	2—2,5		
Fuß	50	43—45	20	1—2		
Zehen	50	43—45	20	0,5—1		
Schulter	50	48—52	20		0,4—0,6	
Ellbogen	50	45—46	20	1.5—2,5		
Unterarm	50	43—45	20	2—3		
Handgelenk	50	43—45	20	1—2		
Hand, Finger......	50	43—44	20	0,5—1		
Zähne	25	41—42	20	0,1—0,2		

Wie schon mehrfach betont, ist das wichtigste für die Herstellung einer gut ausdeutbaren Röntgenaufnahme die Wahl der richtigen Exposition. Wegen der Mannigfaltigkeit der Faktoren, von denen diese Größe abhängig ist, lassen sich allgemeine Gesetze oder Tabellen, aus denen ihr Wert hervorgeht, nur schwer aufstellen. Am sichersten geht der auf dem Gebiete der Röntgenaufnahmen noch Unerfahrene, wenn er selbst durch einige Aufnahmen die Eigenheiten seiner Apparatur und seines Aufnahmematerials experimentell erprobt. Wie in kaum einem andern Falle ist die Erfahrung hier die beste Lehrmeisterin.

Wenn dennoch auf der vorigen Seite eine Expositionstabelle aufgestellt wird, so geschieht dies lediglich, um dem Lernenden einen ersten, ungefähren Anhalt zu geben. Sie ist ausgearbeitet für den Gebrauch von Elektronenröhren und für Patienten von normalem Körpergewicht.

In der Tabelle ist in der Spalte I neben dem Objekt der empfehlenswerte Abstand der Kassette vom Brennfleck der Antikathode angegeben; dieser Abstand ist als zweckmäßig erprobt. Soll eine andere Entfernung genommen werden, so ist die Expositionszeit zu berechnen nach dem bekannten Gesetz, daß die Zeiten proportional dem Quadrat der Entfernungen sind. z. B. doppelte Entfernung erfordert 4fache Zeit, 3fache Entfernung 9fache Zeit usw.

Die Spalte II gibt die für die Aufnahme erforderliche Härte in Kilovolt an, und zwar in „effektiven“ Kilovolt; die entsprechende Scheitelspannung (vgl. S. 44) wird daraus durch Multiplikation mit 1,4 errechnet. Härteangaben nach anderen Maßstäben lassen sich aus der untenstehenden Tabelle ersehen.

Tabelle 5.

Vergleich verschiedener Maßstäbe für die Strahlenhärte.

Kilovolt (effektiv)	39	40	43	49	60	70	80	90	100
Kugelfunkenstrecke (mm)	18,6	19,1	20,7	23,8	30	36	42	49	55
Funkenstrecke (Spitze – Platte) mm	50	60	70	90	120	150	180	210	240
Mittlere Wellenlänge (Å)	0,50	0,49	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
Wehnelt-Skala	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9

Spalte III gibt die für die Aufnahme erforderliche Stromstärke in Milliampere (mA.) an; diese Angaben gelten natürlich nur zusammen mit den Zeitangaben, eine Änderung einer der beiden Größen verlangt zur Erzielung der gleichen photographischen Wirkung zugleich eine Änderung der anderen, und zwar in dem Sinne, daß bei Erhöhung der Milliamperezahl die Expositionszeit verringert werden muß und umgekehrt. Jedoch hüte man sich davor, nur darauf zu achten, daß das Produkt Expositionszeit mal Milliamperezahl gleich bleibt, denn bei Erhöhung der Stromstärke tritt zugleich ein Spannungsabfall ein, so daß die Härte des Strahlengemisches sich gleichzeitig verringert und infolgedessen zugleich eine Nachregulierung der Spannung notwendig wird.

Spalten IV und V bringen die Expositionszeiten in Sekunden, und zwar mit oder ohne Benutzung von Folien. Über die Anwendung und Wirkungsweise der Folien, insbesondere ihren Einfluß auf die Expositionsdauer ist früher (S. 29) bereits eingehend berichtet; die Reduktion der Belichtungszeit bei Gebrauch der Folien ist aus den angegebenen Zahlen deutlich ersichtlich.

Spalte VI gibt die Expositionszeit bei Gebrauch der Bucky-Blende (Film mit zwei Folien) an; die Begründung geht aus den Erörterungen der Wirkungsweise dieser Blende auf S. 17 hervor.

Für das Gelingen der Aufnahmen ist die Auswahl der Härte von größter Bedeutung (Spalte II, Kilovolt), weshalb auf diesen Punkt noch etwas näher eingegangen werden soll. Da es wesentlich darauf ankommt, diejenigen Teile des Objekts, die für die Diagnose wichtig sind, durch genügende Kontraste voneinander unterscheiden zu können, muß die Härte diesem Zweck angemessen sein. Bei Aufnahmen von Lungen, Becken oder Schädel müssen deutliche Kontraste von den hellsten bis zu den dunkelsten Teilen zu sehen sein. Gallensteinaufnahmen erfordern hauptsächlich in den wenig absorbierenden Objektteilen deutliche Helligkeitsunterschiede. Bei Eingeweideaufnahmen muß das mit Kontrastbrei gefüllte Organ gegen die Umgebung sich deutlich abheben, und zwar besonders an den Stellen, wo nur kleine Mengen der Füllung sich befinden — die großen Mengen sind ja ohne weiteres sichtbar. Bei Herzaufnahmen kommt es auf Abstufungen in den Kontrasten nicht an; man will hier nur ein Umrißbild eines Negativs, das gegen seine durchlässige Umgebung sich gut abhebt. Härte

Bei Aufnahmen von Körperteilen oder Organen, die an sich zu wenig Kontraste aufweisen, hilft man sich durch Einführung von stark absorbierenden Substanzen. Man gibt z. B. für Aufnahmen des Magendarmtraktus dem Patienten eine sogenannte Kontrastmahlzeit (Wismut- oder Bariumsulfatbrei); bei der Pyelo- und Myelographie benutzt man Jodipin, Bromnatrium o. dgl.; Eiterfisteln und Höhlen füllt man mit Collargol oder Wismutsuspensionen; Gallensteine werden sichtbar durch Verabreichen von Tetrajod- oder Tetrabromphenolphtalein, kurz, die Erfahrung und Forschung gibt dem Diagnostiker eine ganze Anzahl von Möglichkeiten, künstlich Kontraste durch absorbierende Agentien hervorzurufen. Auch auf entgegengesetztem Wege kann man solche erzielen, z. B. durch Einblasen von Luft in den Darm, selbst die Kombination beider Methoden wird angewandt. Im Anhang sind auf den Tafeln VI, VII, VIII, X, XI und XIV Beispiele für solche Aufnahmen mit Kontrastmitteln wiedergegeben. Kontrastmittel

Nachdem unter Berücksichtigung der in der Expositionstabelle und der in obigen Bemerkungen dazu gegebenen Anhaltspunkte die für die Aufnahme in Betracht kommenden Bedingungen festgelegt sind, wird zur Aufnahme geschritten. Dabei ist nun eine Reihe von Maßnahmen zu beachten, denen im folgenden noch einige Zeilen gewidmet sein sollen.

1. Die Hauptrichtung der Strahlung muß die Mitte des Films senkrecht treffen; hierbei ist folgendermaßen auf die Röhrenstellung zu achten:

2. Der Brennfleck der Antikathode, die Mitte des Objekts und die Mitte der Platte (des Films) müssen in einer geraden Linie liegen, damit eine möglichst gleichmäßige Belichtung und beste Ausnutzung der Schicht erreicht wird.

3. In Fällen, wo eine Seitenverwechslung beim Betrachten der Aufnahme möglich sein könnte, empfiehlt es sich, durch Auflegen von Metallbuchstaben

(R = rechts, L = links) auf der Kassette bei der Aufnahme die beiden Seiten zweifelsfrei zu bezeichnen.

4. Das Objekt soll möglichst flach auf der Kassette aufliegen, um eine scharfe Zeichnung zu erzeugen, je weiter das Objekt von der Schicht entfernt ist, desto weniger scharf werden die Konturen, wie schon im

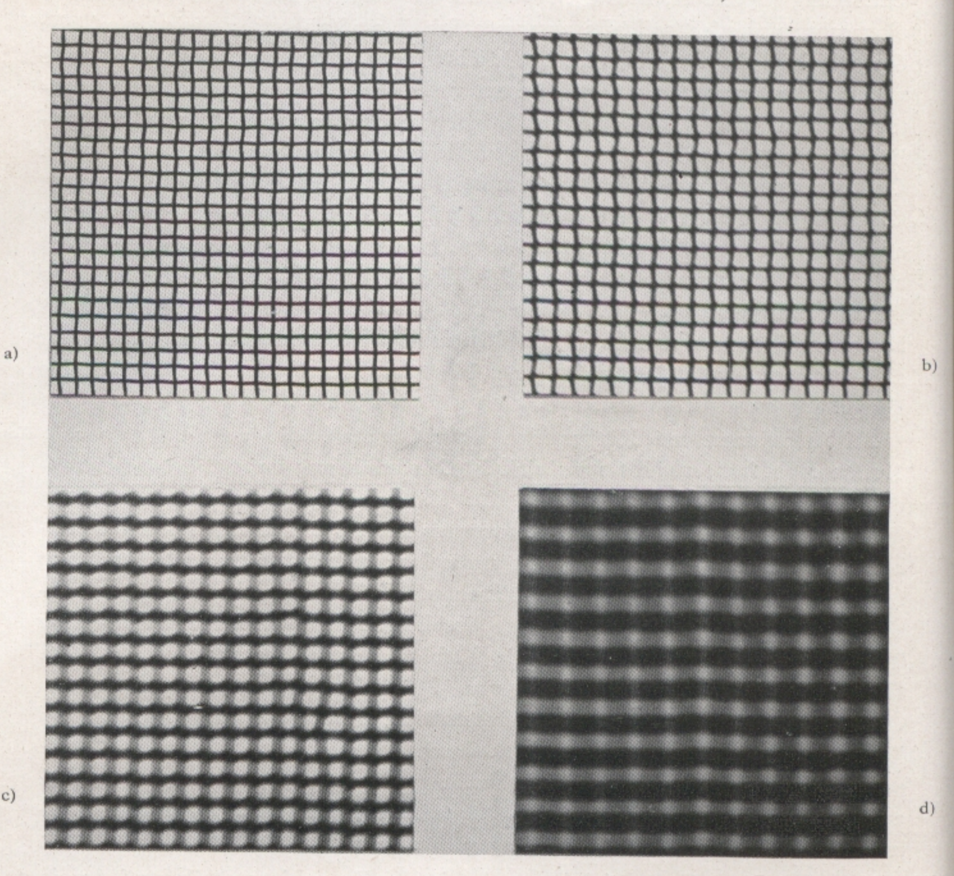


Abb. 54. Aufnahme eines Drahtgitters:
a) auf der Kassette aufliegend
b) in 10 cm Abstand von der Kassette
c) in 20 cm Abstand von der Kassette
d) in 30 cm Abstand von der Kassette

theoretischen Teil (S. 20) ausgeführt ist. Das Bild 54 zeigt ein und dasselbe Drahtgitter a) unmittelbar auf der Kassette aufliegend, b) in 10 cm, c) in 20 cm und d) in 30 cm Entfernung davon. Die mit zunehmender Entfernung eintretende Unschärfe und Verzerrung der Gitter illustriert das Gesagte aufs deutlichste.

5. Das Strahlenbündel soll, schon um den Patienten nicht unnötig der Röntgenstrahlung auszusetzen, möglichst nur die aufzunehmenden Körperteile treffen. Es muß daher bis auf einen Kegel abgeblendet werden, der gerade nur das Objekt bzw. das Platten- oder Filmformat bestreicht. Diese Ab-

blendung wird durch geeignete Vorrichtungen am Röhrenstativ (Blende aus Bleiblech) erreicht. Bei den sogenannten Selbstschutzröhren wird bereits durch Einrichtungen an der Röhre selbst ein Strahlenkegel von solchen Dimensionen herausgeblendet, daß für die meisten Aufnahmen bei normalem Abstand eine weitere Abblendung sich erübrigt.

6. Die Sekundärstrahlung soll nach Möglichkeit vermieden oder beseitigt werden, nicht nur mit Rücksicht auf das Gelingen der Aufnahme, sondern auch auf den Patienten und die Personen, die die Apparatur bedienen. Es ist schon früher (S. 17) auf die störende Wirkung der Streustrahlen und ihre Beseitigung hingewiesen (Tubus-Blende, Bucky-Blende usw.), so daß an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht.

7. Bei den sogenannten Fernaufnahmen (Lunge, Herz) kommt es darauf an, die betreffenden Organe in annähernd natürlicher Größe in das Bild zu bekommen; deshalb wird eine größere Entfernung gewählt, die andererseits nicht zu groß sein darf, weil die Aufnahme möglichst kurzzeitig sein soll. Die angegebene Entfernung von 1,50 m hat sich in der Praxis bewährt.

8. Zahnaufnahmen werden unter etwas anderen Bedingungen gemacht, wie auch schon die Expositionstabelle zeigt. An Stelle der Kassette tritt hier die biegsame Packung des Zahnfilms, die der Patient selbst möglichst eng an den Kiefer und die Zähne von der Mundseite her andrückt. Das Strahlenbündel, meist aus einer für diesen Zweck konstruierten Apparatur, soll den Film so treffen, daß die Zähne möglichst ohne Verzeichnung sich abbilden; deshalb muß dem Kopf des Patienten unter Berücksichtigung der Lage des Films im Munde, eine bestimmte Stellung gegeben werden, in der er während der Aufnahme durch eine Kopfstütze gehalten werden muß. Beim doppelseitigen Zahnfilm verhindert eine Marke (Loch) die Verwechslung der Seiten (vgl. S. 34).

9. Stereoaufnahmen werden in der Weise hergestellt, daß zwei Aufnahmen unmittelbar nacheinander gemacht werden, indem bei der zweiten die Röhre parallel zur Kassettenebene um den Augenabstand verschoben wird. Die beiden Aufnahmen müssen dann in einem für diesen Zweck konstruierten Apparat betrachtet werden (vgl. S. 21 und S. 48).

10. Eine besondere Kassette ist erforderlich bei den sogenannten Zielaufnahmen, bei denen es sich darum handelt, ein bewegtes Organ, meist einen Teil des Verdauungstraktus (speziell Duodenum), in einer bestimmten Phase aufzunehmen. Der Arzt beobachtet hierbei den Patienten am Fluoreszenzschirm bei relativ geringer Röhrenbelastung bis zu dem gewünschten Moment, in welchem dann die Kassette automatisch an die Stelle des Schirms tritt. Gleichzeitig wird — meist zwangläufig — an die Röhre die hohe Spannung gelegt, welche für eine solche Kurzzeitaufnahme erforderlich ist. Es gibt auch Einrichtungen, die es ermöglichen, eine Reihe solcher Aufnahmen kurz hintereinander zu machen; diese stellen dann die einzelnen Phasen, z.B. der peristaltischen Magen- oder Darmbewegungen dar. Man spricht hier von „Serienaufnahmen", die gewissermaßen ein Ersatz der — vorläufig noch nicht immer ausführbaren — kinematographischen Aufnahmen sind.

VII. Die Arbeiten in der Dunkelkammer

Das richtig exponierte Negativmaterial kann ein gutes Bild nur geben, wenn es auch weiterhin sachgemäß verarbeitet wird. Erforderlich ist hierfür zunächst eine sachgemäß eingerichtete Dunkelkammer, auf deren Instandhaltung der Röntgenarzt die gleiche Sorgfalt verwenden sollte, wie auf die der Röntgenapparatur. Man soll dazu einen nicht zu beengten Raum wählen, der gegen Tageslicht dicht abgeschlossen werden kann, jedoch muß er andererseits die Möglichkeit bieten, lüften und bei Tageslicht Säuberungsarbeiten vornehmen zu lassen. Deshalb empfiehlt sich eine gute Verdunkelungseinrichtung, wie Rolljalousie o. dgl. am Fenster. Die Wände brauchen nicht dunkel gestrichen zu sein, es genügt ein Anstrich in orangegelber Farbe, der die blauen Anteile von etwa durch eine Spalte zufällig eindringendem Tageslicht unschädlich macht. Der Fußboden sollte, wenn möglich, fugenlos oder mit Fliesen belegt sein, damit er sich leicht säubern läßt; sehr wünschenswert ist eine Fußbodenentwässerung.

Dunkelkammer-einrichtung

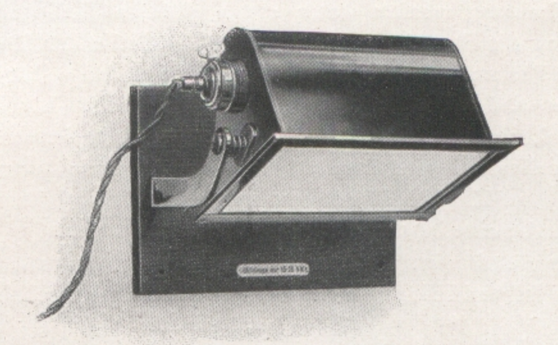


Abb. 55. Agfa-Dunkelkammerlampe

Sauberkeit

Die für das Arbeiten in erster Linie erforderliche peinliche Sauberkeit wird erleichtert, wenn die Dunkelkammer groß genug ist, daß ein geräumiger Tisch für die Trockenbehandlung (Einlegen und Herausnehmen) der Platten und Films völlig getrennt von dem Arbeitsplatz für die spätere Naßbehandlung (Entwickeln, Fixieren usw.) aufgestellt werden kann. Verstäuben von Chemikalien und Verspritzen von Lösungen ist unbedingt zu vermeiden, deshalb soll das Ansetzen von Lösungen grundsätzlich außerhalb der Dunkelkammer vorgenommen werden. Man hüte sich sorgfältig vor Verwechslungen, da Verunreinigungen der Entwicklerlösungen, besonders mit Fixierbad, die Entwicklung schädigen (s. Kapitel IX). Das Negativmaterial darf nur mit ganz sauberen Fingern angefaßt werden und soll nie direkt auf den Tisch, sondern immer auf eine Unterlage von sauberem Papier, z. B. auf eine schwarze Film-Schutzhülle, gelegt werden.

Beleuchtung

Zur Beleuchtung der Dunkelkammer wurde bisher im allgemeinen dunkelrotes Licht angewandt, indem entweder eine Birne aus rotem Glas verwendet oder vor eine gewöhnliche Birne ein rotes Schutzfilter gesetzt wurde. Es ist

bekannt, daß vom menschlichen Auge das rote Licht als relativ dunkel und bei längerem Arbeiten als sehr ermüdend empfunden wird. Um ein sichereres und leichteres Hantieren in der Dunkelkammer zu ermöglichen, ist ein helleres, aber für die photographische Schicht des Röntgenmaterials relativ ungefährliches Licht notwendig, und dieses wird durch Anwendung des neuen Agfa-Röntgen-Dunkelkammerfilters Nr. 104 erreicht. Eine Deckenlampe, mit diesem Filter versehen, erhellt den ganzen Raum genügend, daß alle Gegenstände und Personen darin erkennbar sind, ohne daß bei dieser Entfernung das Negativmaterial geschädigt wird.

Armatur

Die vielfach noch üblichen Pendellampen über dem Arbeitsplatz sind nicht zu empfehlen, sie blenden das Auge und lassen dadurch die Umgebung dunkler erscheinen als sie ist. Besser sind die an der Wand befestigten schwenkbaren Agfa-Dunkelkammerlampen (Abb. 55); sie ermöglichen in bequemster Weise ein Arbeiten bei indirektem Licht, indem sie der Wand zugekehrt werden, so daß das Negativmaterial nur von reflektiertem Licht beleuchtet wird. Will man das Negativ während der Entwicklung betrachten, so schwenkt man die Lampe für diesen kurzen Augenblick nach vorn.

Agfa-Dunkelkammerlampe

Prüfung der Lampe auf ihre Sicherheit

Jedes Dunkelkammerlicht ist nur unter bestimmten Voraussetzungen sicher. Die Kerzenstärke der Glühlampe (bei Agfa-Dunkelkammerlampen mit Filter 104 etwa 16 bis 25 K), die Entfernung der Lampe von der Filmfläche (75 cm Abstand) und die Dauer der Belichtung sind dafür die maßgeblichsten Faktoren. Indirektes Licht vorausgesetzt, darf dabei die Belichtung des trockenen Films unbedenklich 5—8 Minuten dauern. Nach etwa 1 Minute Entwicklungszeit ist die Schicht nicht mehr so empfindlich gegen das Dunkelkammerlicht. Der Film kann ihm dann zeitweise (ca. 5—10 Minuten) sogar direkt (Entfernung 75 cm) ausgesetzt werden. Eine Prüfung, ob bei anderer Arbeitsweise das Licht keinen schädlichen Grauschleier veranlaßt, läßt sich leicht durchführen, indem man ein Stückchen unbelichteten Film zerschneidet, eine der beiden Hälften im Dunkeln beläßt und mit der anderen in der gewohnten Weise im Lichte der Lampe hantiert. Entwickelt man nachher beide Stücke im Dunkeln aus, so gibt ein Vergleich ihrer Klarheiten ein Maß für die Sicherheit des Lichtes.

Zahnfilm-Dunkelkammer

Wesentlich einfacher kann der Dunkelraum für den Zahnarzt sein, der nur mit Agfa-Zahnfilm arbeitet, und zwar hauptsächlich deshalb, weil dieser für Lichtstrahlen viel weniger empfindlich ist als für Röntgenstrahlen. Dazu kommt, daß das kleine Format der Films nur kleine Entwicklungsgefäße usw. erfordert, und daß das Hantieren mit Kassetten und Folien wegfällt. Daher genügt es, wenn in einer Zimmerecke ein kleiner Raum durch einen Vorhang aus lichtdichtem Stoff abgetrennt wird; natürlich darf auch von oben kein Licht eintreten, an der Eintrittstelle müssen die beiden Teile des Vorhanges etwa $^1/_2$ m übereinandergreifen, damit kein Licht durch den Spalt fallen kann, und der Vorhang muß auf dem Fußboden aufliegen, um Tageslichtzutritt von unten zu verhindern. Dieser Dunkelraum soll, wenn möglich, fließendes Wasser haben, am besten mit einem flachen Becken, in dem die Entwicklungsgefäße, gegebenenfalls auf einem Holzrost, Platz finden.

Auf einem Wandbrett können die Zahnfilms (in einem verbleiten Eisenkästchen) Chemikalien und sonstige Utensilien aufbewahrt werden. Erleuchtet wird der Raum durch eine in Augenhöhe angebrachte Agfa-Dunkelkammerlampe mit einer 16kerzigen Birne, aber nicht mit Filter 104, sondern mit dem viel helleren Filter 106.

Einlegen der Platten, Films und Folien

Röntgenplatten und Films in Einzelpackung können ohne Kassette verwendet werden. Ebenso werden, wie schon erwähnt, die Zahnfilms in der verwendungsbereiten Packung geliefert. Alle übrigen Platten und Films müssen in Kassetten eingelegt werden, und zwar in der Dunkelkammer bei geeignetem sicherem Licht. Absolute Sauberkeit ist hier, wie bei allen photographischen Arbeiten, unerläßliche Vorbedingung für das Gelingen; Platten und Films müssen mit einem weichen Haarpinsel sorgfältig abgestaubt werden, denn jedes Staubpartikelchen gibt einen Fleck auf dem Negativ. Auch die Folien müssen sauber und staubfrei gehalten werden; etwaige Schmutzflecke, die auf der Aufnahme sich bemerkbar machen würden, lassen sich meist durch vorsichtiges Abwaschen mit feuchtem Wattebausch entfernen.

Anordnung der Verstärkungsfolien

Jedes Blatt des doppelseitig begossenen Films befindet sich in der Packung in einem zusammengefalteten Stück dünnen schwarzen Papiers. Um den Film vor dem Befassen und Zerkratzen zu schützen, wird er mit dem Schutzpapier zusammen herausgenommen und kann, wenn er ohne Folien verwandt werden soll, auch mit diesem in die Kassette gelegt werden, andernfalls muß bei Aufnahmen mit Folien stets die Folienschicht an der Bromsilberschicht anliegen, das Schutzpapier daher entfernt werden (vgl. S. 31). Die Anordnung muß so sein, daß sich bei der Aufnahme die Reihenfolge ergibt:

I bei Agfa-Röntgenplatte: Röhre — Objekt — Folie — Platte,

II bei Agfa-Röntgenfilm: Röhre — Objekt — Folie — Film — Folie.

Kassettenprüfung

Für Aufnahmen mit Folien empfiehlt sich die Benutzung guter Metall-Preßkassetten, die allein ein gutes Anliegen der Folie gegen den Film gewährleisten. Wenn sich zwischen Folie und Schicht ein Zwischenraum bilden kann, so überlagern sich die vom Verstärkungsschirm kommenden Strahlen gegenseitig und erzeugen Unschärfen auf dem Negativ. Man prüft deshalb die Kassetten in der Weise, daß man sie mit Film und Folie beschickt, ein Drahtnetz auf die Kassette legt und mit mittelharter Strahlung kurz exponiert. Wenn die Folie gut anliegt, erscheint das Gitterbild durchweg scharf, andernfalls sind die Konturen stellenweise unscharf (vgl. S. 31). Auf Lichtdichtheit wird die Kassette geprüft, indem man sie, mit einem Film (ohne Folie) beschickt und geschlossen, von allen Seiten 20 Minuten dem vollen Tageslicht, womöglich dem Sonnenlicht aussetzt; etwaige lichtdurchlässige Stellen markieren sich deutlich nach dem Entwickeln auf dem Film.

Allgemeines über Entwicklung

Die Behandlung von Röntgenplatten und Films nach der Aufnahme ist im allgemeinen nicht anders als die von gewöhnlichen Platten. Während man jedoch bei Porträt- oder Landschaftsaufnahmen darauf hinarbeitet, weiche, schön durchgezeichnete Negative zu erhalten, wird von dem Röntgenbild in der Regel verlangt, daß es deutliche Kontraste zeigt. Die Entwicklung der

Aufnahmen wird daher so geleitet, daß besonders kontrastreiche und brillante Negative entstehen. Für die Röntgenphotographie kommen zwei verschiedene Arten der Entwicklung in Betracht:

1. die Schalenentwicklung und
2. die Trogentwicklung.

Beide Methoden leisten, wenn sie richtig angewendet werden, nahezu dasselbe. Die Schalenentwicklung hat die Eigenart, daß man während des Prozesses bis zu einem gewissen Grade noch Maßnahmen zum Ausgleich von Expositionsfehlern treffen kann (Näheres später). Andererseits bietet die Trogentwicklung den Vorteil, daß man eine größere Anzahl richtig belichteter Platten oder Films auf einmal entwickeln kann. Die Trogentwicklung wird deshalb überall da angewandt, wo regelmäßig eine größere Anzahl von Aufnahmen täglich zu entwickeln ist, also in Krankenhäusern, Röntgeninstituten usw., während die Schalenentwicklung vorzuziehen ist, wenn Platten oder Films nur in geringem Umfange verarbeitet werden; die Schalenentwicklung ist also mehr für den Kleinbetrieb, die Trogentwicklung für den Großbetrieb zu empfehlen. Ganz verlassen hat man die früher oft angewandte langsame Standentwicklung, bei der man das Bild durch stark verdünnte Entwicklerlösungen (Glycin 1:15 oder 1:20) in $^1/_2$ bis 1 Stunde hervorrief. Je mehr aber die Zahl der täglichen Aufnahmen im Röntgenbetriebe anwuchs, desto lästiger wurden die langen Entwicklungszeiten, so daß diese Methode fast keine Anhänger mehr hat.

Wie schon im theoretischen Teil (S. 33) ausgeführt wurde, kommen für die Röntgenphotographie wesentlich drei Entwickler in Betracht, Agfa-Röntgen-Rapid-Entwickler, Rodinal und Glycin. Alle drei sind grundsätzlich für beide Entwicklungsarten anwendbar, jedoch empfehlen sich für die Trogentwicklung besonders der Rapid-Entwickler und das Glycin wegen ihrer guten Haltbarkeit, Bezüglich der Unterschiede in der Wirkung sei auf die Erörterung im theoretischen Teil (S. 35) verwiesen, aus der hervorgeht, daß der Rapid-Entwickler überall da den Vorzug verdient, wo es darauf ankommt, geringe Schwärzungsunterschiede bei möglichst kurzer Entwicklungszeit noch deutlich sichtbar zu machen. Entwickler

Daß die geeignete Temperatur für den Entwicklungsvorgang 18⁰ beträgt, ist eine für die Photographie ganz allgemein bekannte Tatsache, und Angaben über Entwicklungsdauer beziehen sich, wenn nicht ausdrücklich etwas anderes gesagt wird, stets auf diese Temperatur. Es ist deshalb möglichst dafür Sorge zu tragen, daß im ganzen Raum diese Temperatur herrscht, es wird dann leicht sein, auch die Entwickler- und andere Lösungen auf 18^0 zu halten. Unbedingt nötig ist es, die Lösungen ständig mit dem Thermometer zu kontrollieren und, wenn erforderlich, zu kühlen oder anzuwärmen; man kann entweder die Entwicklerbehälter (Vorratsflasche, Schale, Trog) in ein größeres Gefäß mit warmem bzw. kaltem Wasser oder Eis, oder ein solches in die Schale oder den Trog setzen. Zum Anwärmen des Troginhalts können elektrische Tauchsieder benutzt werden, jedoch müssen diese aus kupferfreiem Material bestehen (Reinnickel, Porzellan). Temperatur

Entwicklungsdauer

Bei gleicher Temperatur hängt die Dauer der Entwicklung wesentlich von der Konzentration der Entwicklerlösung ab, so daß man beliebig schnell oder langsam entwickeln kann. Die oben erwähnten drei Entwickler in der am Schluß dieses Kapitels angegebenen Zusammensetzung haben, wie im theoretischen Teil ausgeführt ist, ganz bestimmte optimale Entwicklungszeiten, nämlich Glycin 20 Minuten, Rodinal 5 Minuten und Agfa-Röntgen-Rapid-Entwickler 5 Minuten, jeweils bei einer Temperatur von 18° C. Ist es unmöglich, die optimale Temperatur von 18° einzuhalten, so müssen die Entwicklungszeiten entsprechend variiert werden, worüber die Tabelle 3 auf S. 36 Auskunft gibt. Man bediene sich einer im Handel käuflichen Dunkelkammeruhr, die nach Ablauf der eingestellten Zeit ein Klingelsignal ertönen läßt. Das Überschreiten der optimalen Entwicklungszeiten auch bei unterexponierten Bildern ist zwecklos und ruft nur Verschleierung hervor.

Besonders bei Benutzung der oben erwähnten Zahnfilm-Dunkelkammer ist eine solche Uhr sehr bequem, der Zahnarzt kann inzwischen im Zimmer die Entwicklungszeit anderweitig ausnutzen und auf das Klingelzeichen hin sofort hinter den Vorhang treten und den Film aus dem Entwickler nehmen.

Bei richtiger Exposition wird nach der vorgeschriebenen Entwicklungsdauer ein normales Negativ erhalten, das in richtiger Abstufung alle Kontraste zeigt, von tiefster Schwärze in der Umgebung des Objekts bis zur völligen Klarheit an ganz undurchlässigen Stellen (z. B. Goldplomben). Ist das Bild stark gedeckt und auch an solchen Stellen, die hell bleiben müßten, geschwärzt, dann liegt Überexposition vor, während ein unterexponiertes Bild keine tiefen Schwärzen aufweist, im allgemeinen flau aussieht und bei wenig durchlässigen Stellen (z. B. Schädelknochen) überhaupt keine Details mehr zeigt. Die richtige Beurteilung mißlungener Aufnahmen gibt Fingerzeige für ihre Wiederholung; wenn eine solche nicht möglich ist, kann häufig eine Nachbehandlung noch zu einem praktisch nutzbaren Negativ verhelfen. Unterexponierte Bilder können verstärkt werden, jedoch führt das nicht immer zum Ziele. Aussichtsreicher ist das Abschwächen überexponierter Aufnahmen, die dadurch fast immer für diagnostische Zwecke verwertbar werden Bei Überexpositionen läßt sich durch vorzeitiges Abbrechen der Entwicklung in vielen Fällen ebenfalls ein brauchbares Negativ erhalten, welches zwar niemals den Kontrastreichtum aufweisen wird wie ein richtig exponiertes und ausentwickeltes Bild, aber doch alle für den Arzt wertvollen Einzelheiten sehen läßt. Die Beurteilung, ob die Entwicklung vorzeitig unterbrochen werden darf, kann natürlich nur der Arzt selbst oder geschultes Hilfspersonal treffen; für weniger geübte Kräfte im Dunkelkammerbetrieb wird sich die

Schematische Entwicklung

schematische Entwicklung nach der Zeit empfehlen. Hierbei wird die Entwicklung ohne Rücksicht auf Unter- oder Überexposition bis zur optimalen Entwicklungszeit durchgeführt mit nachträglicher Abschwächung überexponierter Bilder. Diese Methode hat den Vorteil, daß ein so entwickeltes Bild auf alle Fälle die überhaupt herauszuholenden Kontraste aufweist und Expositionsfehler leicht erkannt werden. Auch dem noch ungeübten Arzt wird es möglich sein auf die Weise rasch zu richtigen Expositionen zu

kommen, während anderseits der erfahrene Arzt unter diesen Umständen selbst mit ungeübtem Dunkelkammerpersonal zu arbeiten in der Lage ist.

Nach dem Entwickeln sind die Films resp. Platten gründlich abzuspülen, ehe sie in das Fixierbad kommen. Beim Fixieren ist darauf zu achten, daß das Bild erst dann an das Tageslicht gebracht wird, wenn alles Bromsilber verschwunden ist. Das Fixieren ist dann aber noch einige Minuten fortzusetzen, bis das Silber, das noch in gelöster (durchsichtiger) Form in der Schicht sitzt, durch weiteres Fixieren entfernt ist. Man soll bei gewöhnlichem sauren Fixierbad nicht kürzer als 12—15 Minuten fixieren; Schnellfixiersalz erfordert 5 Minuten. Das Fixierbad muß auf einer Temperatur von 15 bis 18° C gehalten werden. In den Sommermonaten, zumal in heißen Gegenden, steigt die Temperatur des Bades oft über das zulässige Maß. Die Gelatineschicht weicht auf und kann dann leicht von der Unterlage abschwimmen. Es empfiehlt sich, unter solchen Umständen das angegebene Härtebad (S. 70) zum Fixieren zu benutzen. Man hüte sich, Fixierbad in den Entwickler gelangen zu lassen. Für Röntgenmaterialien ist saures Fixierbad deshalb anzuwenden, weil durch den Säurezusatz das Bad sich lange klar hält und auf diese Weise Entwicklerreste, die etwa in der Schicht bleiben, neutralisiert werden. Ein geeignetes Bad wird durch Auflösen von saurem Agfa-Fixiersalz in der vorgeschriebenen Wassermenge hergestellt. Die Zeitdauer des Fixierens kann durch Verwendung von Agfa-Schnellfixiersalz, das in der fünffachen Wassermenge aufzulösen ist, erheblich abgekürzt werden. Ein solches Schnellfixierbad erschöpft sich auch bei weitem nicht so schnell wie die gewöhnlichen sauren Fixierbäder.

Das Fixieren

Nach dem Fixieren müssen die Platten und Films gründlich, d. h. mindestens $^1/_2$ Stunde lang in fließendem Leitungswasser gewässert werden; dann werden sie in staubfreien, mäßig warmen und gut durchlüfteten Räumen zum Trocknen gebracht. Zu diesem Zweck werden die Platten auf Böcke gestellt, so daß zwischen den Schichten ein mindestens drei Finger breiter Zwischenraum bleibt und die Luft gut hindurchstreichen kann. Films hängt man so auf, daß sie sich auch bei Luftzug nicht berühren können, damit ein Zusammenkleben vermieden wird. In schlecht ventilierten und feuchten Räumen können sich besonders im Sommer auf dem Film Bakterienkulturen bilden, welche schwarze oder helle Punkte auf der Schicht entstehen lassen, mitunter auch ganze Löcher in die Gelatine hineinfressen.

Wässern und Trocknen

Heißluftventilatoren zur Beschleunigung des Trocknens sind mit Vorsicht anzuwenden, da sie leicht ein Abschmelzen oder ein ungleichmäßiges Trocknen der Schicht bewirken.

Grundsätzlich ist die geschilderte Naßbehandlung für Schalen- und Trogentwicklung gleich, nur in der Handhabung der beiden Verfahren ergeben sich einige Unterschiede. Bei der Schalenentwicklung macht man es sich zur Regel, erst den Entwickler in die Schale zu gießen — und zwar in reichlicher Menge — dann die Schale an einer Seite etwas anzuheben, die Platte oder den Film von dieser Seite aus in die Flüssigkeit hineingleiten zu lassen und sogleich die Schale in die wagerechte Lage zurückzubringen. Man

Schalenentwicklung

erreicht so eine gleichmäßige und gleichzeitige Benetzung der Schicht. Etwaige Luftblasen sind durch vorsichtiges Überwischen mit dem Finger oder einem Wattebausch sofort zu entfernen. Während der Dauer der Entwicklung ist die Schale in schaukelnder Bewegung zu halten, da sonst Schlieren und

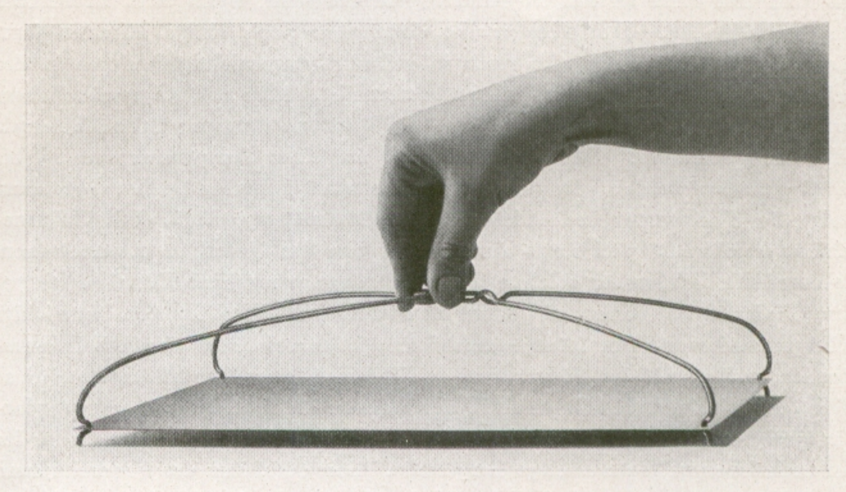


Abb. 56. Agfa-Entwicklungsbügel

wolkige Zeichnungen entstehen. Der doppelseitig begossene Film erfordert besondere Sorgfalt, er muß nach dem Einbringen in den Entwickler wiederholt umgewendet werden; denn es liegt bei unvorsichtigem Arbeiten

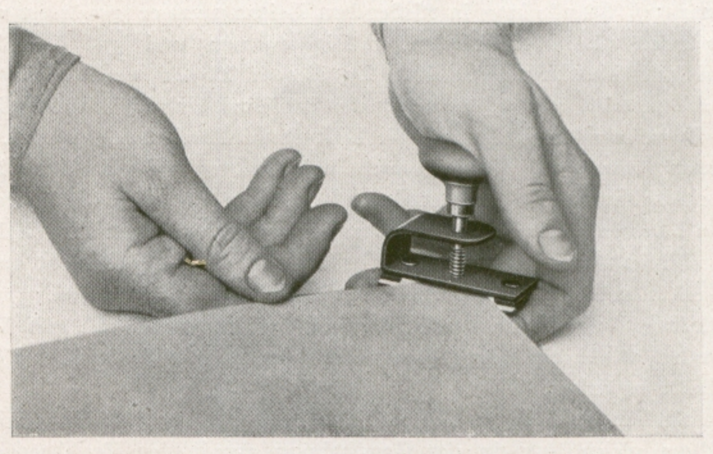


Abb. 57. Locher zum Agfa-Entwicklungsbügel

mit dem doppelseitig begossenen Röntgenfilm die Gefahr vor, daß die untere Schicht des Films beim Entwickeln am Schalenboden zerkratzt wird, oder sich mit Luftblasen besetzt, ja sogar stellenweise festklebt und aus diesem Grunde ungleichmäßig entwickelt wird. Diese Gefahr wird vollständig be-

seitigt, wenn man sich beim Entwickeln des Agfa-Entwicklungsbügels (Abb. 56) bedient, der die Handhabung des Films außerordentlich erleichtert. Durch den Bügel erhält der Film eine leichte Spannung und wird vom Schalenboden so weit entfernt gehalten, daß die untere Schicht nicht verletzt werden kann. Nachdem der Film mit Hilfe einer für diesen Zweck hergestellten Stanze (Abb. 57) an den Ecken gelocht ist, kann er leicht, sicher und ohne Gefahr der Beschädigung in den Bügel eingespannt werden und bleibt bis zur Beendigung des Trocknens darin. Entwicklungsbügel

Der Locher besitzt eine rechtwinklige Aussparung, in die man die Filmecke genau einpaßt und durch einen Druck auf den Stempel sauber perforiert (s. Abb. 57). Bei der Verwendung des Bügels wird der Film beim Entwickeln, Fixieren, Wässern und Trocknen überhaupt nicht mit den Händen berührt, die Hände bleiben bei der Verwendung des Entwicklungsbügels sauber und trocken.

Wenn aus irgendeinem Grunde noch nachträglich Zusätze (z. B. Bromkalium) dem Entwickler zugefügt werden müssen, so gieße man sie nie direkt in den Entwickler, sondern in eine Flasche, den Entwickler aus der Schale dazu, schüttle gut um und gieße das Gemisch in die Schale zurück. Nach beendeter Entwicklung wird in der oben geschilderten Weise abgespült, fixiert, ausgewässert und getrocknet.

Wie oben erwähnt, wird die Schalenentwicklung nur dort angewandt, wo verhältnismäßig wenig Aufnahmen gemacht werden; wo täglich eine größere Anzahl entwickelt werden muß, empfiehlt es sich, die Entwicklung nebst weiterer Naßbehandlung in Agfa-Entwicklungströgen (Abb. 58) vorzunehmen. Ein Satz besteht aus vier Hartgummitrögen, welche für Entwicklung, Zwischenwässerung, Fixieren und Schlußwässerung bestimmt sind. Der Entwicklungstrog ist mit einem Deckel versehen, der einerseits während des Entwicklungsvorganges die Films vor Licht, andererseits den Entwickler gegen Staubeinfall und vor zu schneller Oxydation durch die Luft schützt. Agfa-Tröge sind höher als die sonst üblichen Tröge des Handels. Trogentwicklung

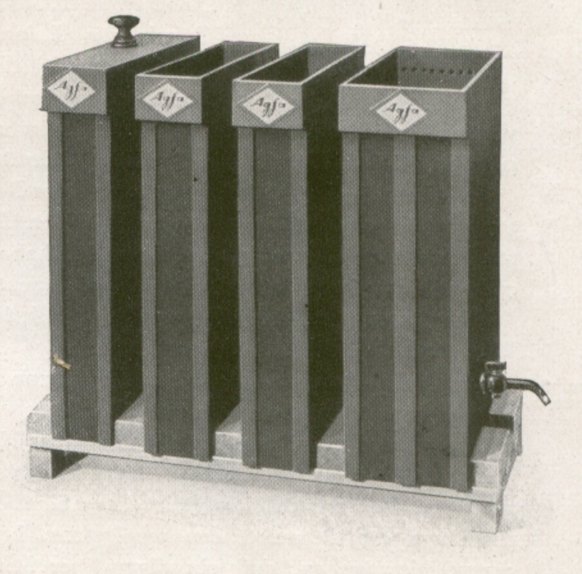


Abb. 58. Agfa-Entwicklungströge

Der Fassungsraum der kleinen Tröge beträgt etwa 12 Liter, der großen 25 Liter. Wegen der höheren Form bleibt unter dem Film ein tiefer Schlammsack, so daß die beim Tankbetrieb sich unvermeidlich anreichernden Schmutz- und

Gelatinereste besser absinken und beim Hantieren der Films nicht bis zur Filmfläche aufgewirbelt werden. Dadurch wird gleichzeitig eine längere Ausnutzung des Entwicklers möglich gemacht.

Röntgenrahmen

In diese Tröge werden die Films am bequemsten und zweckdienlichsten mittels der Agfa-Röntgenrahmen (Abb. 59) hineingehängt, welche mit Hilfe einer besonderen Ladevorrichtung mit dem Film beschickt werden. Die Benutzung einer solchen Ladevorrichtung hat neben der absoluten Sicherheit des richtigen Einlegens noch den Vorteil, daß die Schicht nicht berührt zu werden braucht und daher vor Beschädigungen und Fehlern der oben genannten Art geschützt wird. Die Ladevorrichtung ist ein sehr leicht zu handhabender Apparat, der nur wenig Platz in Anspruch nimmt. Zu jedem Rahmenformat gehört eine besondere Ladevorrichtung.

Ladevorrichtung

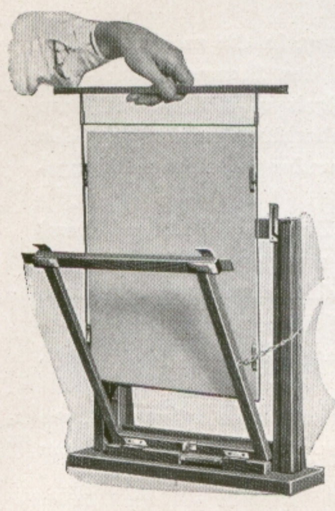


Abb. 59. Agfa-Entwicklungsrahmen mit Ladevorrichtung

Der Agfa-Röntgenrahmen hat den besonderen Vorzug, daß der Film darin nur an vier Punkten festgeklemmt und dadurch zugleich gespannt ist. Er kann also auch beim Schräghalten nicht herausgleiten, und es kann sich an den Rändern die Flüssigkeit aus den Bädern nicht halten; auch das Trocknen vollzieht sich ohne Randbildung. Die Rahmen sind, ebenso wie die oben erwähnten Bügel, aus Reinnickel hergestellt und deshalb unschädlich für die Entwicklung. Es ist bekannt, daß Spuren von Kupfer, die z. B. aus schlecht vernickelten Messing- oder Bronzerahmen stammen, für den Entwickler geradezu Gift sind; sie rufen wolkige Schwärzungen in der Schicht hervor.

Die Films bleiben nicht nur während der Behandlung in sämtlichen Bädern, sondern bis zum völligen Trocknen in den Rahmen fest eingespannt. Eine starr mit dem Rahmen verbundene Handhabe gestattet ein sicheres und bequemes Betrachten der Films auch im feuchten Zustande.

Die gesamte Naßbehandlung vollzieht sich im übrigen genau in der gleichen Weise wie bei der Schalenentwicklung.

Verstärken und Abschwächen

Das Verstärken und Abschwächen kann erst nach dem Fixieren und gründlichen Auswässern, aber ebensogut nach dem Trocknen vorgenommen werden. Doch tut man gut, das Negativ zunächst am Schaukasten (vgl. S. 48) zu betrachten; bis zu einem gewissen Grade läßt sich durch stärkeres oder schwächeres Beleuchten eine Über- oder Unterbelichtung, für das Auge des Betrachtenden wenigstens, kompensieren. Es ist besonders darauf hinzuweisen, daß ein allgemeiner Schleier bei stärkerer Beleuchtung nicht mehr empfunden wird. In solchen Fällen kann man von einer Nachbehandlung absehen.

Der Verstärker kann zwar die Kontraste im Bild erhöhen, aber er kann natürlich keine Einzelheiten hervorheben, die im Negativ gar nicht enthalten

waren. Überexponierte Negative haben dagegen den Vorzug, daß alle Details vorliegen, die durch das Abschwächen aus den Schwärzen heraus gearbeitet werden. Natürlich muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß der Prozeß rechtzeitig unterbrochen wird, damit nicht andererseits in den hellen Stellen Details verloren gehen.

Vorschriften für das Abschwächen und Verstärken werden weiter unten angegeben werden.

Die oben erwähnten drei Entwickler werden in den nachstehend angegebenen Zusammensetzungen und Konzentrationen angewandt: Entwickler

1. Der Agfa-Röntgen-Rapid-Entwickler wird in Packungen von verschiedener Größe in den Handel gebracht: für $2^1/_4$, $4^1/_2$, 9 und $13^1/_2$ Liter gebrauchsfertige Entwicklerlösung. Einen entsprechenden Entwickler kann man sich, wie folgt, auch selbst ansetzen:

3 g „Metol" (Agfa),
90 g Natriumsulfit wasserfrei (oder 180 g krist.),
7 g Agfa-Hydrochinon,
50 g Pottasche,
5 g Bromkalium

sind in der angegebenen Reihenfolge in 800 ccm lauwarmem (am besten destilliertem) Wasser zu lösen. Dann ist die Lösung auf 1 Liter aufzufüllen und unverdünnt zu benutzen. Die Entwicklung ist darin bei 18° C nach etwa 5 Minuten beendet.

Der Röntgen-Rapid-Entwickler eignet sich hervorragend für schnelle Trogentwicklung, da diese Lösung in einem mit Deckel versehenen Trog sehr lange haltbar und äußerst ausgiebig ist. Die Entwicklungszeit beträgt hier ebenfalls bei 18° C etwa 5 Minuten. Eine Trogfüllung von 12 Litern Rapid-Entwickler erschöpft sich erst nach der Entwicklung von etwa 15 qm Doppelfilm (= etwa 12 Dtz. 30×40).

Für die Entwicklung in dem Agfa-Trog löst man die größte Packung in $13^1/_2$ Liter Wasser; den Überschuß, der nach Füllung des Trogs noch bleibt, füllt man in eine Flasche, die gut verschlossen aufbewahrt wird, und hiervon ergänzt man von Zeit zu Zeit den Verlust, der beim Gebrauch dadurch eintritt, daß jeder Film eine gewisse Menge Flüssigkeit aufsaugt und mit herausnimmt.

2. Glycin wird in folgender Zusammensetzung angewandt:

in 1 Liter Wasser werden
250 g Natriumsulfit krist. bei Zimmertemperatur gelöst; in der Lösung werden
50 g Agfa-Glycin durch Rühren verteilt und durch allmählichen Zusatz von
250 g Pottasche in Lösung gebracht (Vorsicht wegen Schäumens!). Die fertige Lösung wird mit
4 Liter Wasser verdünnt.

Statt die Lösung selbst anzusetzen, kann man auch die fertige Agfa-Glycin-Lösung mit vier Teilen Wasser verdünnen; die Entwicklung dauert 20 Minuten.

3. Rodinal wird mit 10 Teilen Wasser verdünnt angewandt; die Entwicklungszeit beträgt 5 Minuten.

Fixierbad

Das saure Fixierbad wird erhalten durch Lösen von „Agfa-Fixiersalz" in der achtfachen Menge Wasser; schneller als diese Lösung fixiert das „Agfa-Schnellfixiersalz", in der fünffachen Menge Wasser gelöst.

Härtefixierbad

Das S. 65 empfohlene Härtefixierbad wird nach folgender Vorschrift angesetzt:

A.	500 g	Fixiernatron
	2000 ccm	Wasser
B.	150 ccm	Wasser
	60 g	Natriumsulfit krist.,
	90 g	käufl. Essigsäure (ca. 30%)
	30 g	Kalialaun

Zum Gebrauche mische man A und B.

Abschwächer

Die Abschwächerlösung wird hergestellt durch Lösen des „Agfa-Abschwächers" in der zehnfachen Menge Wasser. Das ausgewässerte Negativ kann noch feucht ins Abschwächerbad gebracht werden; nach etwa 5 Minuten ist die Abschwächung beendet. Trockene Bilder sind vorher etwa 2 Minuten in Wasser einzuweichen. Nach dem Abschwächen sind die Aufnahmen gründlich zu wässern.

Verstärker

Zum Verstärken von Röntgenaufnahmen benutzt man den „Agfa-Verstärker" oder folgende Vorschrift:

Lösung I	20 g Quecksilberchlorid (Sublimat),
	20 g Kochsalz,
	1 Liter Wasser.
Lösung II	100 g Natriumsulfit kristallisiert,
	1 Liter Wasser.

Das völlig ausfixierte und gründlich gewässerte Negativ wird in Lösung I gelegt und unter dauerndem Schaukeln darin belassen, bis die geschwärzten Stellen völlig weiß sind. Dann wird es etwa eine Minute gewässert und in Lösung II gelegt, bis das Bild wieder völlig geschwärzt ist, schließlich gut ausgewässert und getrocknet.

Beide Lösungen sind haltbar und wiederholt zu verwenden; es ist zu beachten, daß Lösung I stark giftig ist!

Die Lösung I kann auch hergestellt werden, indem 20 Sublimat-Pastillen zu 1 g in 1 Liter Wasser gelöst werden. Die als Warnung dienende rosa Färbung, die Verwechslungen verhindern soll, schadet dem photographischen Zweck nichts.

VIII. Das Kopieren und Verkleinern von Röntgenbildern

Im allgemeinen genügt für die Diagnose die Original-Röntgenaufnahme (Negativ); eine Positivkopie wird selten benötigt. Unter Umständen kann es aber wünschenswert sein, Positiv-Abzüge auf Papier oder verkleinerte Diapositive auf Film zu haben.

Papierkopien

Zum Anfertigen von Papierkopien benutzt man Bromsilberpapier, und zwar mit glänzender Oberfläche, da auf solchem Material die Feinheiten am besten wiedergegeben werden. Das Papier wird in einem Kopierrahmen unter dem Negativ belichtet. Welche Sorte Bromsilberpapier angewandt wird, hängt von der Art der Aufnahme ab. Man hat es in der Hand, Über- und Unterbelichtung im Negativ bis zu einem gewissen Grade durch die Wahl eines geeigneten Papiers und die Art der Belichtung und Entwicklung auszugleichen; für Negative mit normaler Abstufung wähle man Agfa-Bromid Normal (BN 1 bzw. BN 111), für flaue Negative dagegen besser Agfa-Bromid Contrast (BC 1 bzw. BC 111).

Das belichtete Papier wird in Rodinal 1:20 bei 18⁰ entwickelt (1 bis höchstens 2 Minuten), abgespült, fixiert, ausgewässert und schließlich getrocknet, analog der Behandlung des Films und der Platten (nicht im Trog, sondern in Schalen!).

Diapositive

Soll der gewünschte Positivabzug wieder ein Durchsichtsbild werden, so ist in derselben Weise zu verfahren, nur daß man statt des Papiers den Agfa-Diapositiv-Film unter dem Negativ belichtet. Je nach dem Verwendungszweck nimmt man entweder den blanken Diapositiv-Film — stets für Projektionszwecke! — oder den Agfa-Diapositiv-Mattfilm, der eine besondere Mattscheibe beim Betrachten überflüssig macht.

Der so erhaltene Abzug ist ein Positivbild; will man ein dem Original entsprechendes Duplikatnegativ herstellen, dann muß ein Umdruck angefertigt werden, indem man den ersten Abzug auf dem Agfa-Phototechnischen-Film B herstellt und unter diesem den Diapositiv-Film belichtet. Für den ersten Abzug auch Diapositiv-Film zu verwenden, empfiehlt sich deshalb nicht, weil dieser ein härteres Bild gibt als der Röntgenfilm; das ist zwar erfahrungsgemäß für Durchsichtsbilder erwünscht und notwendig, aber diese Härte würde verdoppelt und daher übertrieben werden, wenn auch der Umdruck mit Diapositivfilm hergestellt würde.

Verkleinerte Diapositive

In den meisten Fällen werden die Diapositive in verkleinertem Maßstabe hergestellt. Wenn man nicht über einen Verkleinerungsapparat verfügt, kann man jede beliebige photographische Camera für diesen Zweck benutzen, indem man das Röntgenbild senkrecht am erleuchteten Schaukasten befestigt und so photographiert. Hierbei kann man entweder direkt auf das Diapositivmaterial oder — wenn ein Umdruck gewünscht wird — zunächst auf den Phototechnischen Film B (oder die Phototechnische Platte B) photographieren; von dieser Aufnahme wird dann wieder eine Kontaktkopie hergestellt, wie oben beschrieben. Bei der Aufnahme muß das aufzunehmende Bild und die Kassette des Apparats senkrecht stehen, da sonst Verzeichnungen eintreten.

Format der Diapositive

Das Format der Diapositive hängt von dem Verwendungszweck ab. Für Demonstrationen am Schaukasten z. B. wird man meist auf 18×24 cm, allenfalls auf 13×18 cm verkleinern. Sollen die Bilder jedoch mit dem Projektionsapparat vorgeführt werden, dann wird in Deutschland fast immer auf 9×12 cm verkleinert, im Ausland, zumal im angelsächsischen, ist das Format 8,5×8,5 cm und auch 8×10,5 cm gebräuchlich.

Glas- und Filmdiapositive

Der Diapositivfilm verdrängt mehr und mehr die Diapositivplatte, da sein geringes Gewicht und Volumen die Aufbewahrung und insbesondere das Mitführen erleichtert. Das macht sich besonders bei den Projektionsdiapositiven bemerklich; Diapositivplatten müssen mit einem Deckglas zur Schonung der Schicht versehen werden, wodurch das Gewicht des Bildes noch verdoppelt wird. Für die Projektion von Filmbildern braucht man nur zwei Glasplatten, die wie Buchdeckel aufklappbar miteinander verbunden sind, und zwischen welche der Film gelegt wird. Es leuchtet ein, welche Ersparnis an Platz und Gewicht es bedeutet, wenn man ein größeres Demonstrationsmaterial in dieser Form besitzt oder mit sich führt.

Stereoskopien

Daß für die Betrachtung stereoskopischer Röntgenaufnahmen im Original-Negativ besondere Betrachtungsapparate notwendig sind, die vielfach nicht zur Verfügung stehen, ließ bisher viele Ärzte von solchen Aufnahmen absehen (vgl. S. 48). Man kann nun aber auch ohne solche Ausrüstungen stereoskopische Aufnahmen verwerten, indem man davon Verkleinerungen herstellt, entsprechend den obigen Angaben. Diese lassen sich dann in einem der bekannten kleinen Apparate betrachten, die für die gewöhnlichen Stereobilder in den verschiedensten Ausführungen hergestellt werden und überall erhältlich sind. Das Maß der Verkleinerung wird sich nach dem benutzten Schaugerät richten; je größer das Format ist, desto günstiger ist es natürlich für den Zweck der Diagnose.

Eine andere, nicht an die Benutzung kostspieliger Apparate gebundene Methode zur stereoskopischen Anschauung besteht darin, daß man von den Negativen sogenannte „Anaglyphen“ herstellt, die man mit den bekannten rotgrünen Brillen betrachtet (vgl. S. 22).

Man verfährt in folgender Weise: Zunächst stellt man sich Chromat-Gelatine-Platten her, indem man Agfa-Pinatypie-Druckplatten in folgender Lösung bei 18° zwei Minuten badet:

Wasser	1	Liter,
Kaliumbichromat	40	g,
Ammoniak		ccm.

Dann läßt man sie in einem vom Tageslicht abgeschlossenen Raum bei 20—25° C trocknen. Die erhaltenen Platten sind einige Wochen haltbar.

Diese Chromat-Platten haben ungefähr die Empfindlichkeit des Celloidin-Papiers; man belichtet sie im Kopierrahmen unter dem Negativ im hellen Tageslicht etwa so lange, wie man ein Celloidin-Papier unter einem gleich dichten Negativ belichtet. Unter dem Einfluß des Lichtes wirkt das Chromat auf die Gelatine gerbend ein; an den vom Lichte getroffenen Stellen quillt deshalb die Gelatine teils gar nicht, teils in geringerem Grade als an den nicht belichteten. Man entfernt das überschüssige Chromat durch 10—20 Minuten dauerndes Wässern und bringt die Platte in eine Farblösung, in der sich nunmehr am meisten die unbelichteten, in geringerem Grade oder gar nicht die belichteten anfärben, weil nur die gequollene Gelatine die Farbstofflösung annimmt. Die zum Betrachten mit dem rechten Auge bestimmte Platte wird rot gefärbt, die andere grün, unter der Voraussetzung, daß die Brille, wie üblich, links rot und rechts grün gefärbt ist.

Die Farbstofflösungen werden hergestellt aus Pinatypie-Komplementrot D und Pinatypie-Komplementgrün D, und zwar werden etwa 2%ige Lösungen angewandt. Nach 1—2 Minuten ist die nötige Anfärbung erzielt, schließlich werden die Platten kurz abgespült und getrocknet.

Des Interesses halber erwähnen wir noch folgendes Verfahren zur Herstellung der beiden Teilbilder. Von den Original-Stereo-Negativen wird je ein möglichst kontrastarmes und nach Bedarf verkleinertes Diapositiv angefertigt. Man belichtet unter diesem ein Blatt Agfa-Kinepositivfilm gleichen Formats solange, daß bei der nachfolgenden 2—3 Minuten langen Entwicklung mit Agfa-Amidolentwickler

1000 g Wasser
100 g Natriumsulfit (wasserfrei)
20 g „Amidol" (Agfa)

in der Verdünnung 1:3 die Schatten leicht verschleiert sind, während die höchsten Lichter wenig Deckung zeigen. Nach gutem Abspülen wird in Fixiernatronlösung 1:4 (neutral) gut ausfixiert; Dauer etwa 10 Minuten. Hierbei dürfen die Filmblätter (zur Vermeidung von Flecken) nicht aufeinanderliegen. Dann wässert man 1/2 Stunde. Das erhaltene Negativ wird, ohne es vorher zu trocknen, in nachfolgendem Bade ausgebleicht:

Kaliumbichromat	10%ige	Lösung	120 ccm
Rotes Blutlaugensalz	„	„	60 ccm
Bromkalium	„	„	60 ccm
Kalialaun	„	„	120 ccm
Salzsäure			10 ccm
Wasser			140 ccm

Das Bleichen muß bei inaktinischem Lichte (Agfafilter Nr. 105) geschehen und verläuft sehr schnell, doch soll das Negativ wenigstens noch 3 Minuten nach erfolgter Durchbleichung im Bade bleiben. Dann wird gut abgespült, 30 Minuten in fließendem Wasser gewaschen und in saurem Fixierbad (S. 70) ausfixiert.

Hierauf wäscht man den Film 1/2 Stunde und läßt ihn ohne Anwendung besonderer Mittel trocknen. Man färbt die Bilder wie oben angegeben, rot resp. grün, härtet sie nach kurzem Abspülen in 3%igem Formalinbade, wässert kurz und trocknet.

Die Farbbilder sind da, wo das als Kopiervorlage benutzte Diapositiv Schwärzungen zeigt, stark gefärbt, da, wo das Diapositiv Lichter zeigt, nicht angefärbt. Man erhält also durch Kopieren eines Diapositivs ein positives Farbbild, der Prozeß ist also ein Positivprozeß, ebenso wie das Chromatgelatineverfahren.

Beim Betrachten mit der Anaglyphen-Brille müssen die Platten vor dem Schaukasten übereinander gelegt werden. Man sieht dann mit dem rechten Auge das grüne Bild gar nicht, das rote als schwarz-weiß-Positiv, mit dem linken Auge das rote Bild gar nicht und das grüne als schwarz-weiß-Positiv.

Natürlich läßt sich das Verfahren auch auf Verkleinerungen anwenden.

IX. Behandlungsfehler

In den vorstehenden Abschnitten wurde wiederholt darauf hingewiesen, welche Fehler im Röntgenbild bei unsachgemäßer Behandlung entstehen können; da diese Angaben über die verschiedenen Kapitel verstreut sind, wird es für die Praxis willkommen sein, wenn hier zusammenfassend die am häufigsten auftretenden Fehler und ihre Entstehungsursachen aufgeführt werden.

1. Ein Grauschleier, welcher das Negativ gleichmäßig mit einem grauen Belag überdeckt, der die Kontraste zwischen Licht und Schatten verschwinden läßt, kann durch verschiedene Umstände veranlaßt sein. Überexposition oder eine Exposition mit zu harter, viel Streustrahlung auslösender Röntgenstrahlung kann die Ursache der Verschleierung sein. Es kann auch die Entwicklung zu lange über die optimale Ausentwicklungszeit hinaus ausgedehnt worden oder das Entwicklerbad zu warm gewesen sein. Meist aber handelt es sich um eine Vorbelichtung, entweder durch Röntgenstrahlen — wenn die Aufbewahrungsstellen im Vorratsschrank oder in der Kassette nicht genügend vor Röntgenstrahlung geschützt sind — oder durch unsicheres und zu lange einwirkendes Rotlicht der Dunkelkammerlampe. Allzu häufiges Herausnehmen des Films aus dem Bade während des Entwickelns kann durch Luftoxydation gleichfalls zu einer Verschleierung des Bildes führen.

Bei einer nach 5 Minuten abgeschlossenen Entwicklung mittels Rapid-Entwickler im zugedeckten Trog bei 18° C und bei Verwendung einer nach S. 61 ausgeprüften Dunkelkammerlampe muß stets ein in den hellsten Schatten nahezu glasklares Negativ erhalten werden.

2. Der Gelbschleier entsteht bei zu langer Entwicklung, oder wenn das Entwicklerbad zu alt, zu stark, zu warm oder durch Fixiernatron verunreinigt war.

3. Dichroitischer Schleier. In der Durchsicht erscheint das Bild gelb bis orange, in der Aufsicht dagegen gelblich-grün, oft mit metallischem Silberglanz. Zuweilen sehen solche fehlerhaften Negative aus, als ob sie nicht ausfixiert wären. Ein solcher Schleier entsteht leicht, wenn der Film ohne genügende Zwischenwässerung aus dem Entwickler in das Fixierbad gebracht wird, oder wenn neutrales oder nicht genügend saures Fixierbad angewendet wird, oder wenn Entwicklerlösung in das Fixierbad gelangt oder umgekehrt.

4. Weiße, halbmondförmige Flecken (Hörnchen). Jedes unvorsichtige Hantieren des Films beim Einlegen in die Kassette oder überhaupt vor dem Entwickeln, besonders ein Knicken und Einbiegen des Films, äußert sich auf dem fertigen Bild als ein mehr oder weniger umfangreicher und deutlicher, sichelförmiger heller Flecken.

Die Benutzung der Agfa-Rahmen und -Ladevorrichtung läßt diesen Fehler in einfachster Weise vermeiden.

5. Schriftzüge, Verschrammungen, dunkle oder helle Markierungen entstehen, wenn die Filmfläche irgendeiner Druckbeanspruchung ausgesetzt war, z. B. wenn man den eingehüllten Film oder selbst die gefüllte Packung

als Schreibunterlage benutzt, oder wenn der Film den Tisch entlang oder über eine Tischkante gleitet. Hantierungen mit dem Film, bei denen er Druck oder Reibung ausgesetzt ist, können auch leicht zum „Verblitzen“ führen.

6. Rundliche, unscharf begrenzte dunkle Flecke, über die ganze Fläche des Films unregelmäßig verteilt, entstehen, wenn der Film, ohne aus seiner schwarzen Papierschutzhülle entfernt zu sein, dem Tageslicht ausgesetzt wird. Das Papier enthält stets äußerst feine Löcher, durch welche Licht auf die photographische Schicht einwirken kann. Meist bemerkt man gleichzeitig dabei eine Randverschleierung und einen Lichteinfall von einer Ecke oder Kante des Films her.

7. Wolkige Struktur und wabenartige Maserung ist eine seltenere Erscheinung und zeigt sich dann, wenn in der Entwicklerschale zu wenig Flüssigkeit war und der Entwickler zu wenig bewegt wurde. Bei vertikaler Entwicklung im Trog kann dieser Fehler nicht vorkommen. Ein Fehler ähnlicher Art entsteht, wenn kalter Entwickler in eine angewärmte Schale gebracht wird. Der sofort einsetzende Temperaturausgleich zwischen Schale und Entwickler ergibt auf dem Film eine wellenartige Zeichnung. Bei zu heißer Schale kann es sogar zum teilweisen Anschmelzen der Gelatineschicht kommen, wodurch das Negativ verdorben wird. Der gleiche Fehler tritt ein bei der Verwendung stark angewärmten Entwicklers in kalter Schale.

8. Marmorierung und Streifung ist die Folge einer Verunreinigung des Entwicklerbades durch Spuren von Kupfersalzen, wie sie z. B. bei Verwendung von nicht einwandfreien Metalltanks und Entwicklungsrahmen aus Messing oder Neusilber in den Entwickler gelangen können. Besonders deutlich tritt der Fehler in Erscheinung, wenn der Film während des Entwickelns öfters zur Betrachtung an die Luft gebracht wird (Luftschleier).

Agfa-Rahmen sind aus reinem Nickel und ohne jeden schädlichen Einfluß auf Entwickler- und Fixiersalzlösungen.

Auch die Agfa-Entwicklungstanks aus Hartgummi sind absolut unschädlich.

9. Runde, weiße, mitunter glasklare Flecken haben Luftbläschen als Ursache, welche sich an der Filmoberfläche festgesetzt und die Einwirkung des Entwicklers an dieser Stelle verhindert haben. Bei Schalenentwicklung ergeben sich oft kometenartige Flecken, deren Form daher rührt, daß die Luftbläschen ihre Lage in der Schaukelrichtung etwas verschieben.

Benetzen des Films vor dem Einlegen in den Entwickler und sorgfältiges Bewegen während der Entwicklung verhüten das Anhaften der Luftbläschen. Auch beim Einsetzen in den Trog ist ein öfteres Auf- und Abbewegen des Rahmens zu empfehlen.

10. Fingerabdrücke, helle oder dunkle, scharf umgrenzte Flecke sind die Folge einer Berührung der Filmschicht mit fettigen oder sonstwie verschmutzten Fingern oder von nassen Spritzern. Spritzer von Entwicklerlösung hinterlassen stark dunkle, Fixierbadspritzer helle bis glasklare, bisweilen metallisch glänzende Flecken. Selbst Wassertröpfchen auf dem noch unentwickelten Film sind im

fertigen Bild als dunkle Schatten deutlich sichtbar, weil an den feucht gewordenen Stellen die Gelatine aufquillt und dadurch der Entwickler rascher wirken kann.

11. Trockenränder, Abschmelzen oder Abschwimmen der Schicht werden veranlaßt durch zu warmes und ungleichmäßiges Trocknen bzw. zu warme Bäder.

Eine weitere Folge unsachgemäßen Trocknens in schlecht gelüfteten, feuchtwarmen Trockenräumen ist der sogenannte Bakterienfraß, durch welchen der Film mit einer Unzahl mehr oder weniger großer Löcher übersät wird, welche in der Durchsicht hell erscheinen.

X. Literaturangaben

(Unter Benutzung einer Zusammenstellung der Hirschwaldschen Buchhandlung, Berlin.)

Albers-Schönberg, Die Röntgentechnik. Handbuch für Ärzte und Studierende. 5. Aufl., bearbeitet von B. Walter, H. E. Albers-Schönberg, F. Hauptmeyer, Drüner, F. M. Groedel. Band II. Mit 230 Abbildungen im Text und 21 Tafeln. 1919. V., 471 Seiten.

Balters, Leitfaden der zahnärztlichen Röntgenkunde. Mit 209 Abbildungen. 1925.

Bronkhorst, De Contrasten in het Röntgenbeeld, Dissertation Utrecht 1926. (Deutsch von Dr. Heinz Lossen, Leipzig, Georg Thieme 1927.)

Bucky, G., Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. Mit 95 Abbildungen im Text und 4 Tafeln, II. Auflage 1924.

Franke, Technik des Doppelfilms. Hamburg 1925.

Glocker, Dr. Richard, Prof. für Röntgentechnik, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, unter besonderer Berücksichtigung der Röntgenmetallographie. Mit 256 Textabbildungen, 377 Seiten. Berlin, Jul. Springer, 1927. Preis Mk. 31,50.

Grashey, R., Atlas typischer Röntgenbilder vom normalen Menschen, ausgewählt und erklärt nach chirurgisch-praktischen Gesichtspunkten, mit Berücksichtigung der Varitäten und Fehlerquellen sowie der Aufnahmetechnik. IV. verbesserte Auflage. Mit 227 Tafelbildern in Originalgröße und 368 Textabbildungen. 1923. VIII., 236 Seiten.

Grebe, L., Einführung in die Physik der Röntgenstrahlen. Für Ärzte und Studierende. 2. umgearbeitete Auflage, mit 23 Abbildungen. 1924. 69 Seiten.

Hasselwander, Alb., Atlas der Anatomie des menschlichen Körpers im Röntgenbild. 1926.

Lehmann, J. G., Die Technik der Röntgenaufnahmen. Mit Abbildungen und einer Tabelle im Text. 1925. 135 Seiten. (Bildet Band V der „Bonner-Röntgenbücher“.)

Lilienfeld, L., Anordnung der normalisierten Röntgenaufnahmen des menschlichen Körpers. 4. Auflage. Neubearbeitet von E. G. Mayer und Fr. Pordes. Mit einem Vorwort von G. Holzknecht. Mit 208 Abbildungen und Skizzen im Text. 1927. VII., 43 Seiten.

Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt und dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung zu Berlin-Dahlem, Sonderheft Nr. 2. 1926.

Meyer, Dr. Hermann, Privatdozent für Chirurgie an der Universität Göttingen, Röntgendiagnostik in der Chirurgie und ihren Grenzgebieten. Mit 655 Abbildungen. 1927. XII., 610 Seiten.

Peltason, Dr. Felix, Grundzüge der Röntgendiagnostik innerer Erkrankungen. Mit 222 Abb. VI, 178 Seiten. München 1927.

Rosenthal, J., Praktische Röntgenphysik und Röntgentechnik. 2. umgearbeitete Auflage. Mit 245 Abbildungen, 3 photographischen und 2 Autotypietafeln. 1925. IV., 256 Seiten.

Schinz, H. R., Lehrbuch der Röntgendiagnostik mit besonderer Berücksichtigung der Chirurgie. Unter Mitwirkung von W. Baensch und E. Friedl, nebst Beiträgen von A. Hotz, O. Jüngling, E. Liebmann, E. Looser, K. Ulrich, mit einem Vorwort von P. Clairmont und E. Payr. Etwa 1200 Seiten. Mit etwa 1500 teilweise farbigen Textabbildungen und 5 photographischen Tafeln. (In Vorbereitung.)

Walter, B., Die physikalischen Grundlagen der medizinischen Röntgentechnik. Mit 89 Abbildungen. 1926.

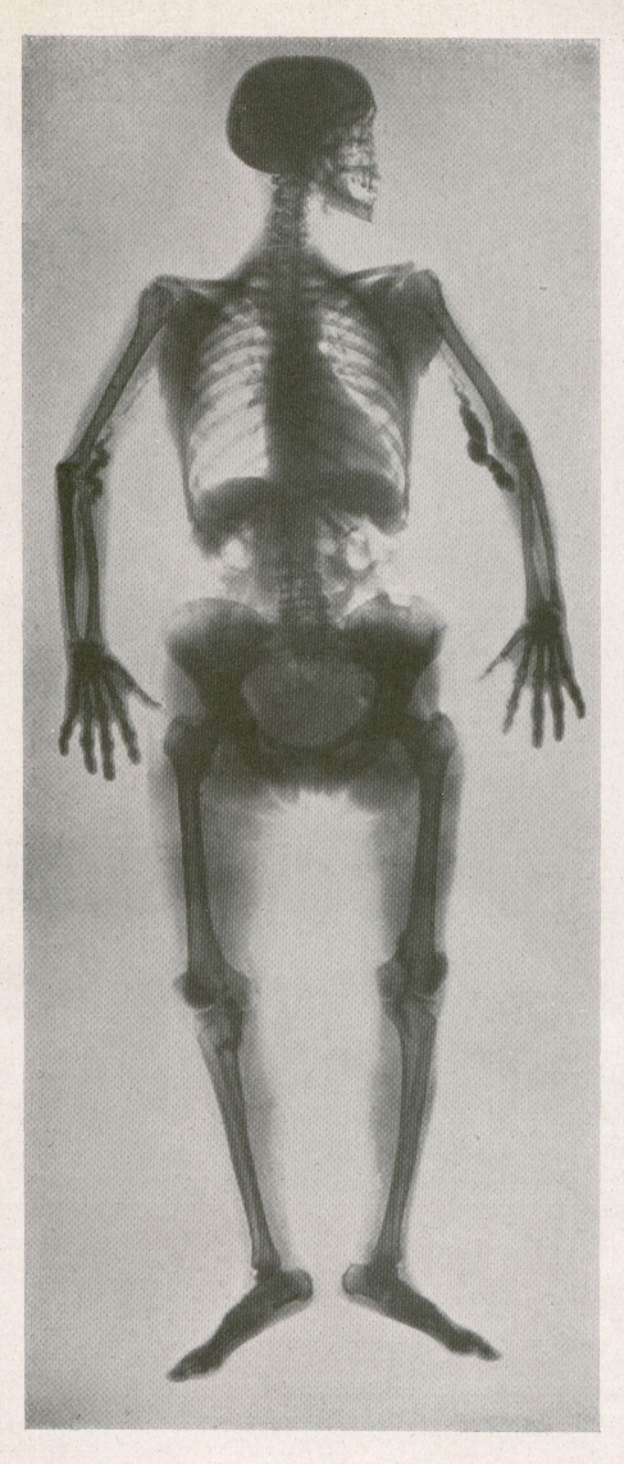
Zeitschriften

Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Herausgegeben von Professor Dr. Grashey. (Verlag Georg Thieme, Leipzig.)

Zeitschrift für Röntgenologie. Herausgegeben von Dr. K. Immelmann. (Verlag C. F. Pilger, Berlin.)

Zentralblatt für die gesamte Radiologie. Herausgegeben von Dr. K. Frik. (Verlag Julius Springer, Berlin.)

SACHREGISTER

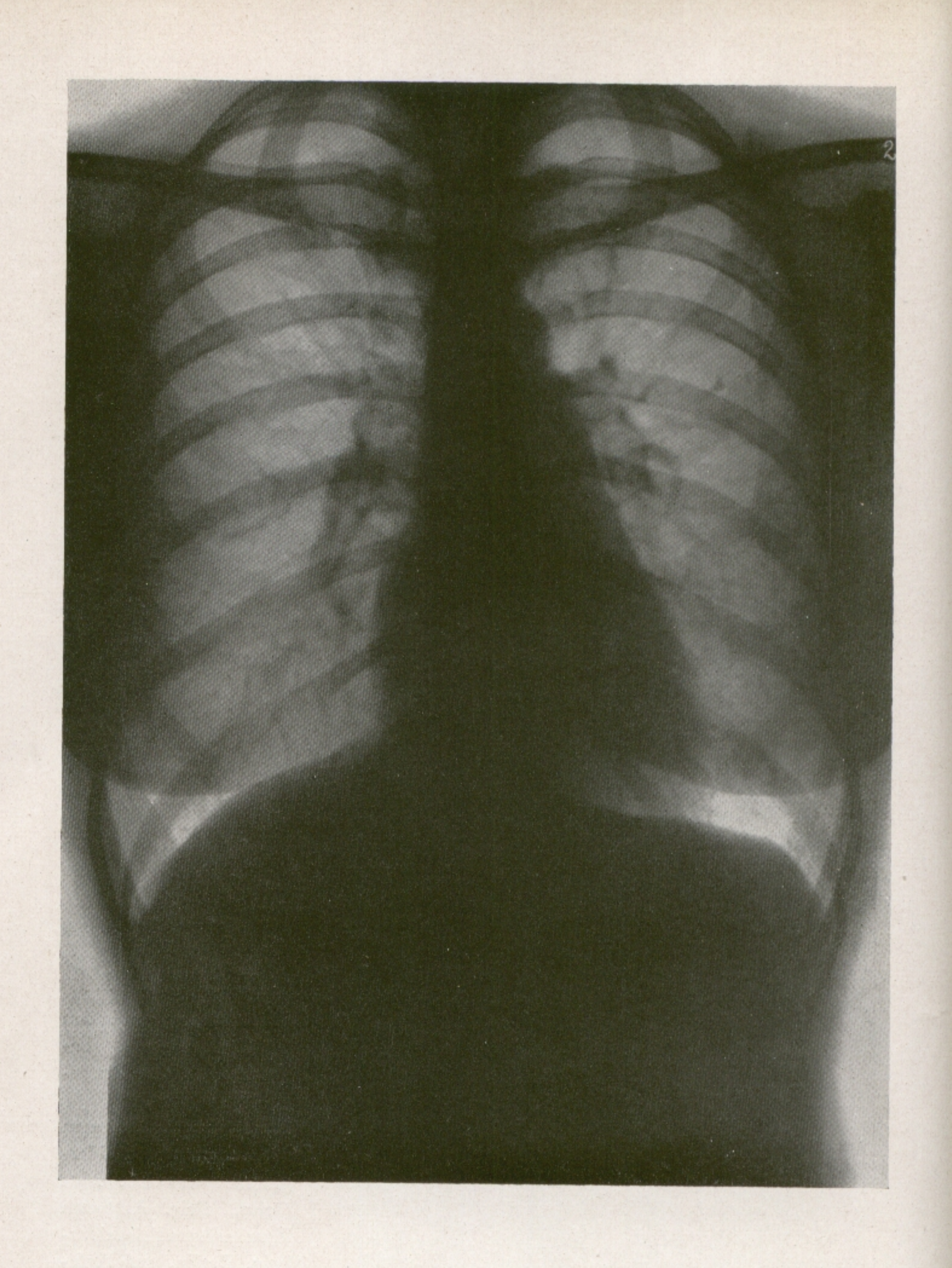


TAFEL I.

Kalkablagerungen in den Gefäßwandungen, besonders an den Beugestellen.

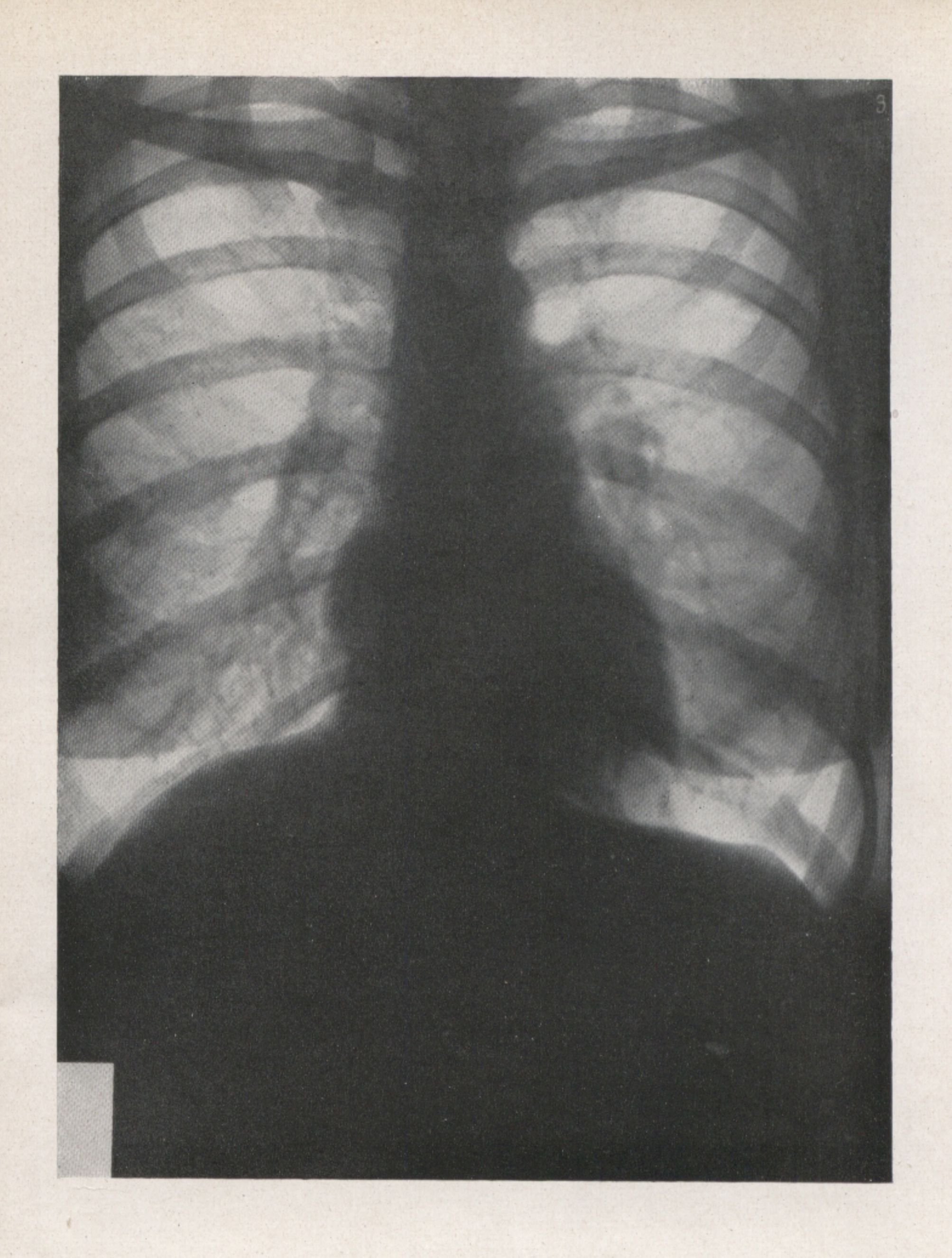
Aus 13 Einzelaufnahmen zusammengesetzt. Hergestellt von Dr. Max Cohn, dirig. Arzt am Krankenhaus Friedrichshain, Berlin, auf Agfa-Röntgenfilm.

(Vgl. „Agfa-Photoblätter" Nr. 1, III. Jahrg. (1926), S. 21 und „Medizinische Klinik", 1927, Nr. 22.)



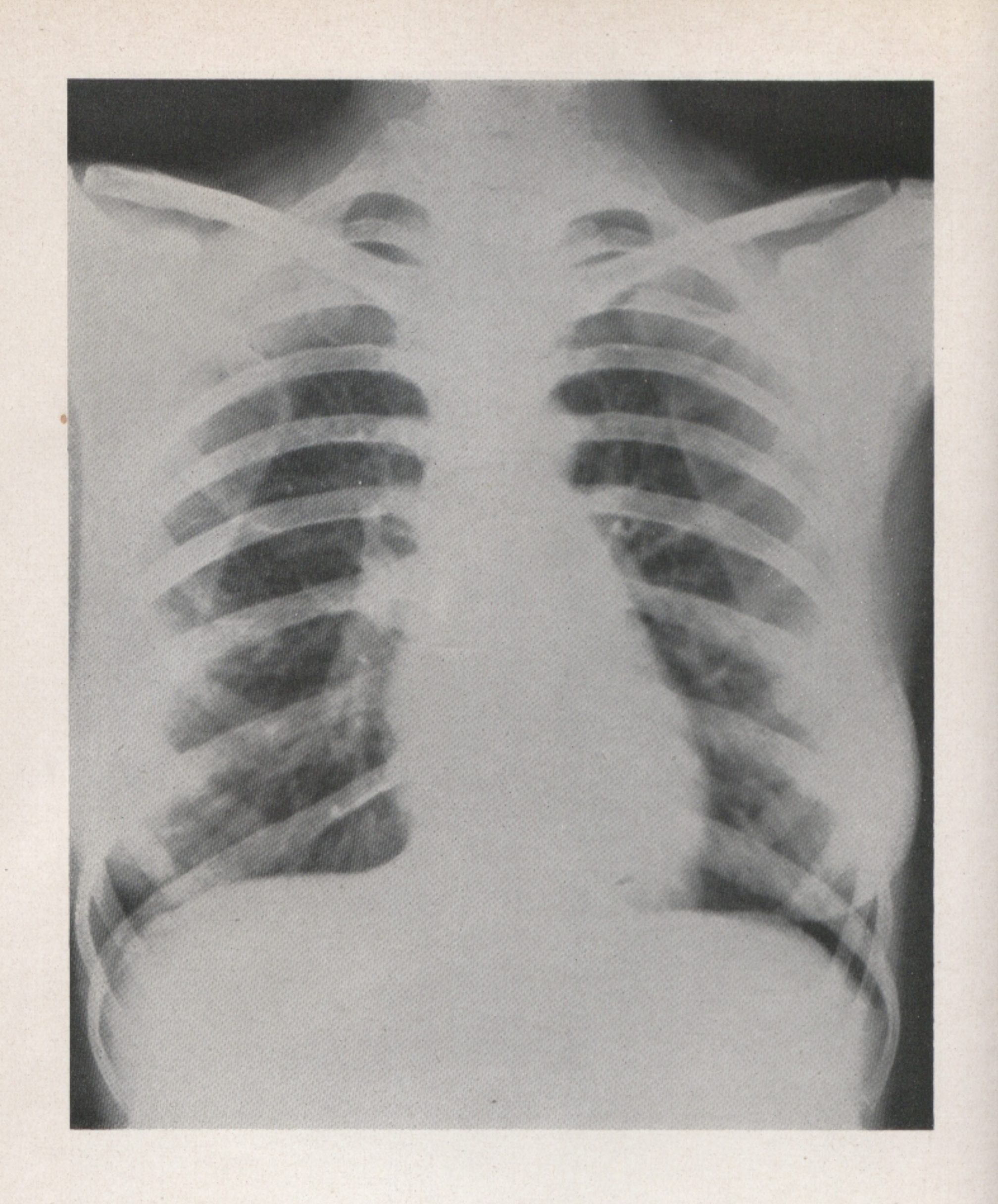
TAFEL II.

Lungenaufnahme mit harter Strahlung, fern.
Entfernung: 150 cm, 63 Kilovolt, 75 Milliampère, 0,2 Sek.



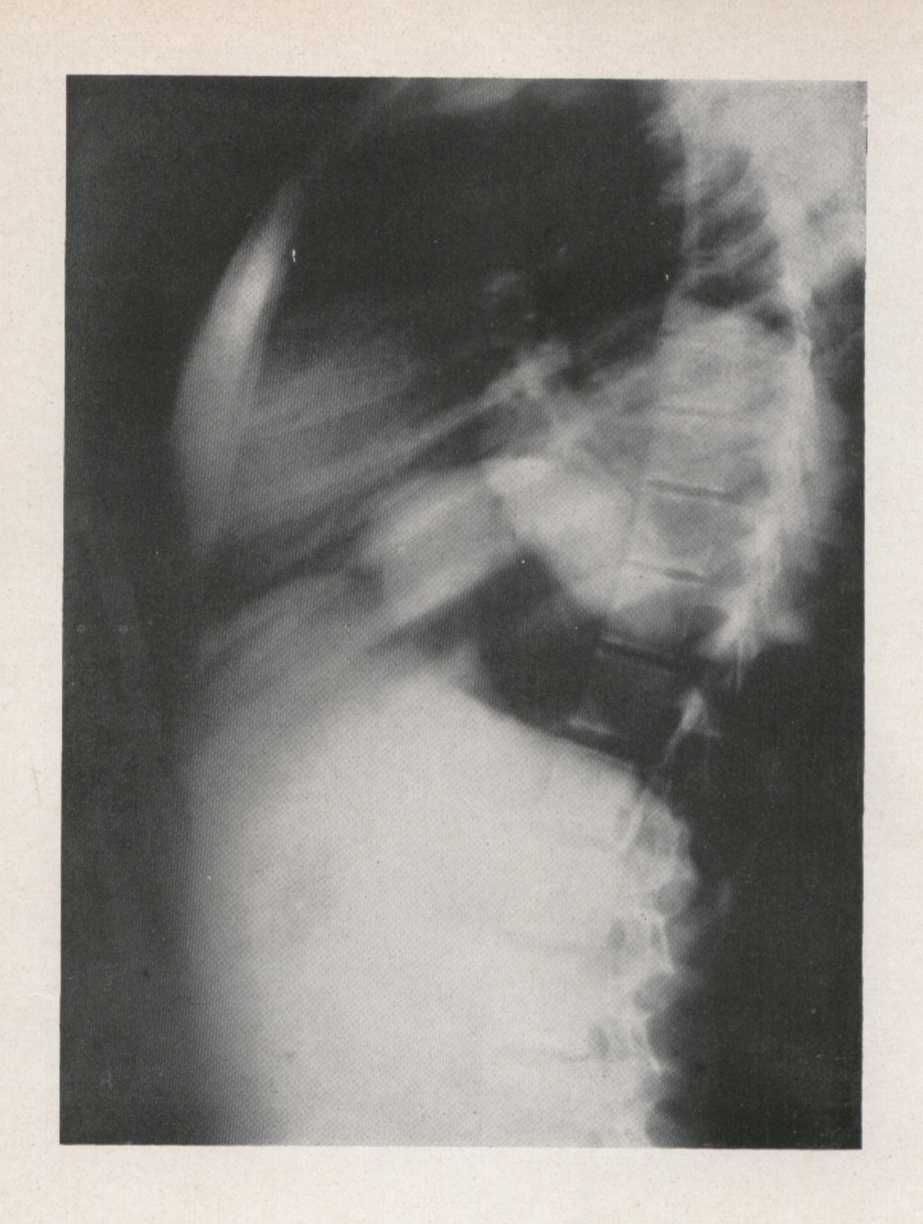
TAFEL III.

Lungenaufnahme mit weicher Strahlung, nah.
Entfernung: 60 cm, 50 Kilovolt, 75 Milliampère, 0,1 Sek.



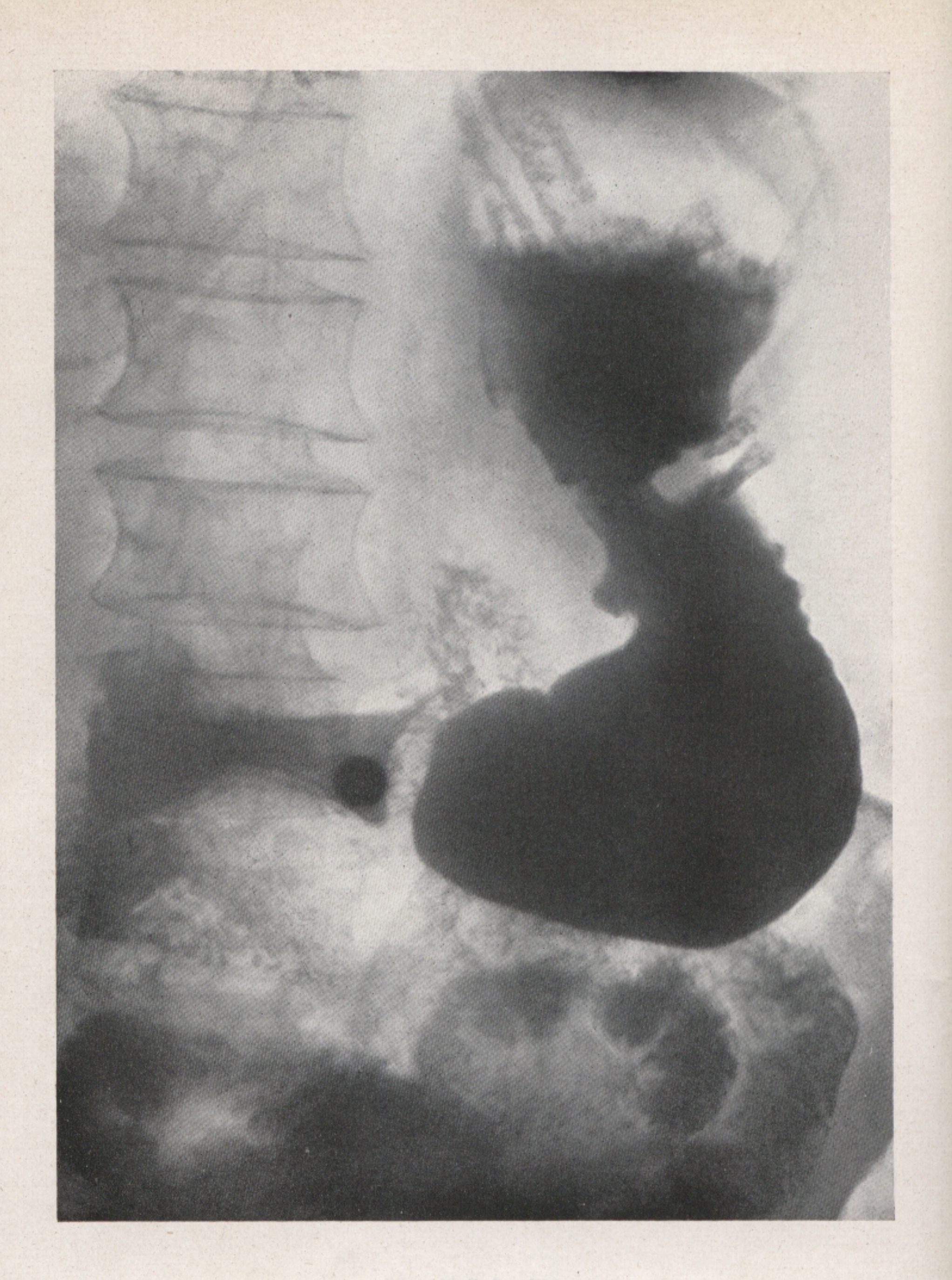
TAFEL IV.

Lungenspitzenkatarrh beiderseits.
Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm von Dr. Chantraine, Betzdorf-Sieg.



TAFEL V.

Echinococcen der Lunge im rechten und linken hinteren Brustraum (Frontalaufnahme).
Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm im Städt. Krankenhaus am Friedrichshain, Berlin.
Dirig. Arzt Dr. Max Cohn.



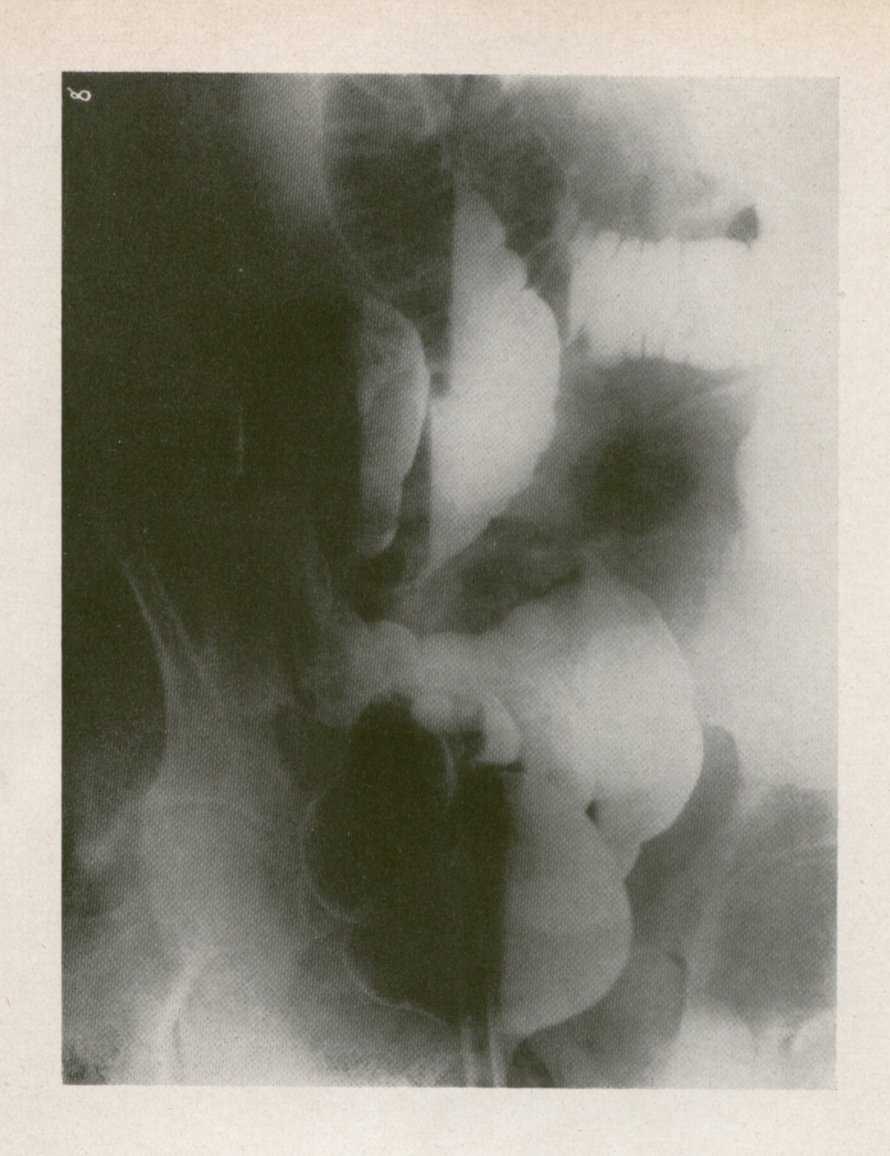
TAFEL VI.

Ulcus penetrans in Corpusmitte an der kleinen Curvaturseite mit Sanduhrenge.
Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm von Prof. Dr. Hänisch, Hamburg.



TAFEL VII.

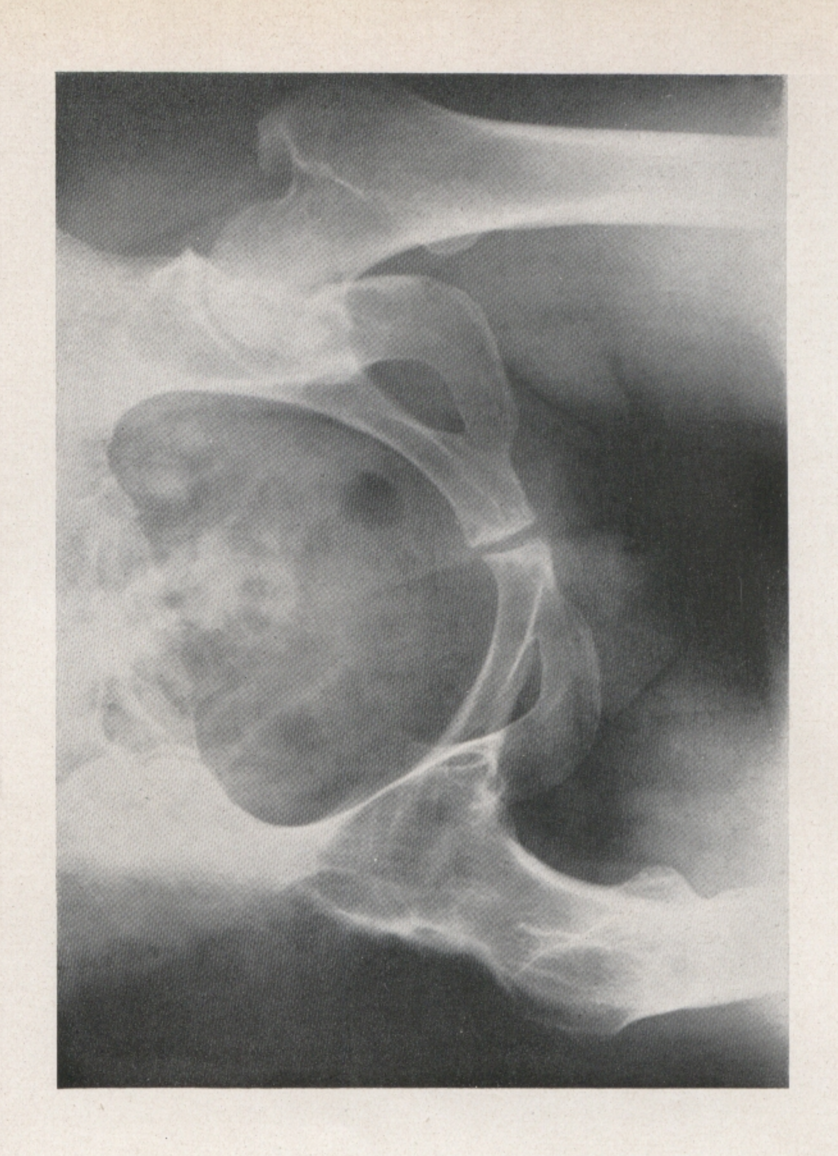
Darm mit Kontrastfüllung.
Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm von Dr. G. Rodenacker, Krankenanstalt in Wolfen, Kr. Bitterfeld.



TAFEL VIII.

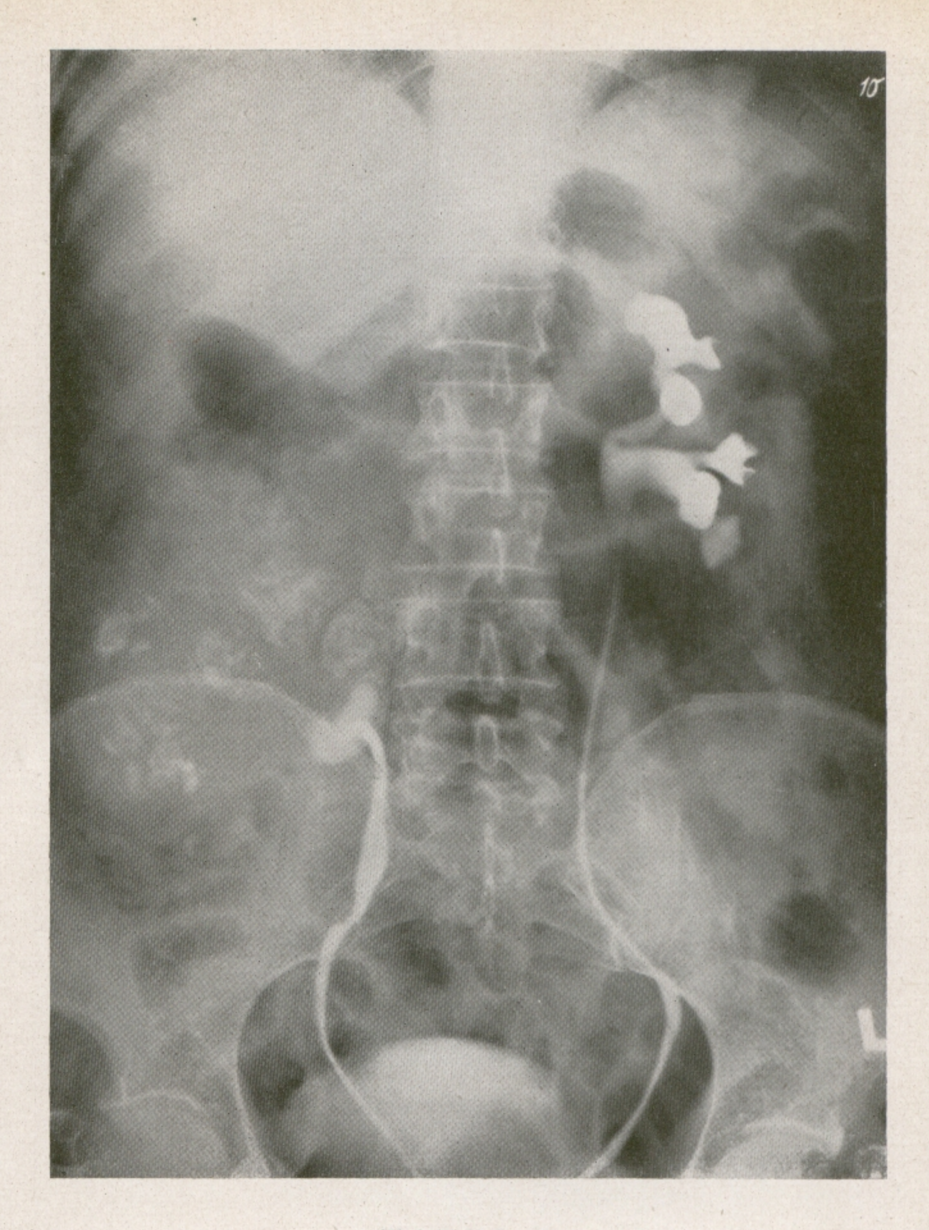
Darm mit Luftfüllung.

Aufnahme auf Agfa-Röntgenfilm von Dr. Kramer, Mülheim-Ruhr.



TAFEL IX.

Durch knöcherne Ankylose ausgeheilte rechtsseitige spezifische Coxitis. Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm im Röntgeninstitut Dr. Fr. Blonek, Prag.

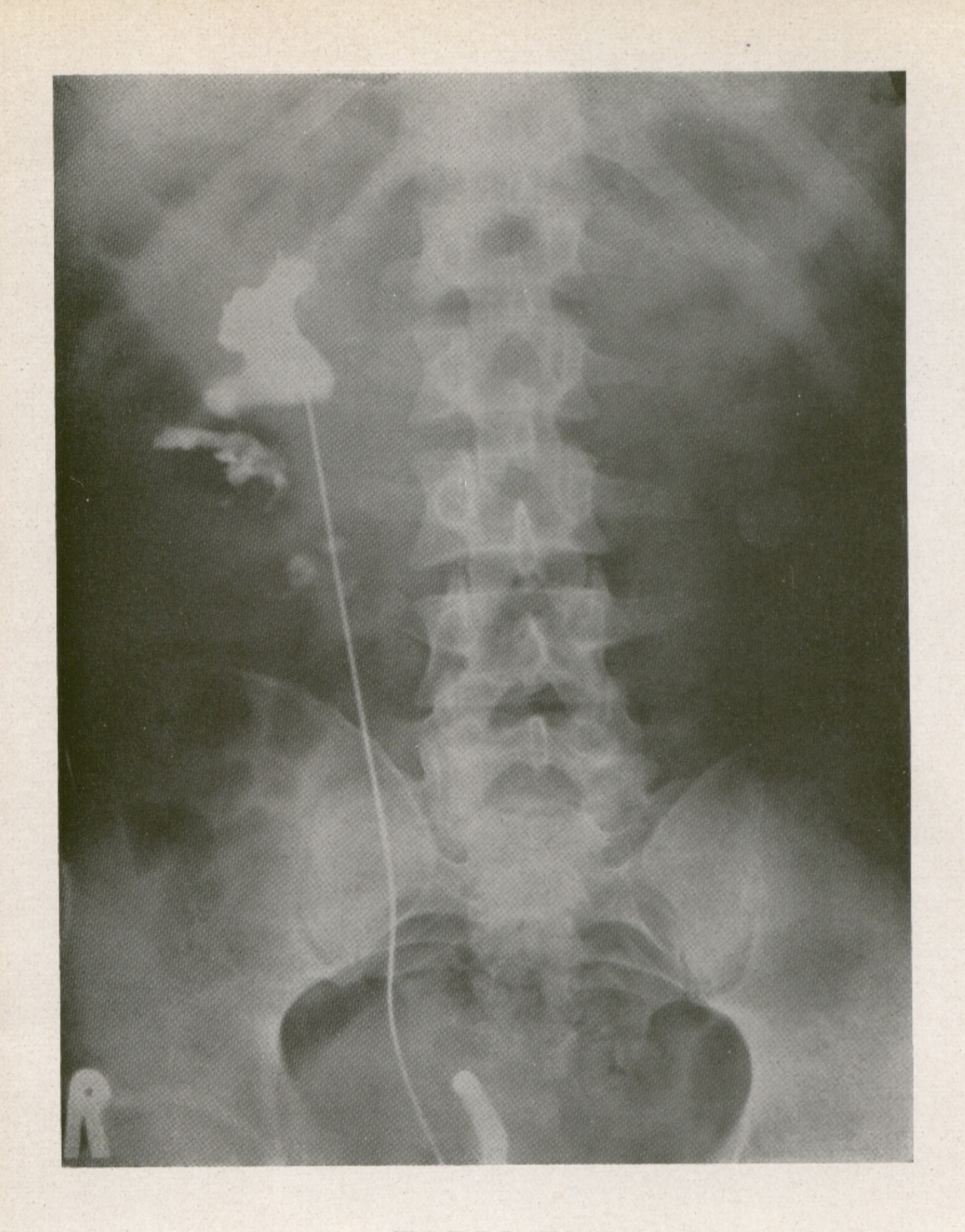


TAFEL X.

Doppelseitiger Ureteren-Katheterismus.

Links: Zweigeteiltes Nierenbecken. — Rechts: Verschlußstein im Nierenbecken. Umfangreiche Kalkinkrustationen der stark vergrößerten Niere. Als Folge eine große Zahl von sehr weichen (röntgenologisch nicht sichtbaren) Fibrinsteinen (Bakteriensteinen).

Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm im Städt. Krankenhaus Friedrichshain, Berlin. Dirig. Arzt Dr. Max Cohn.



TAFEL XI.

Paranephritischer Abscess.

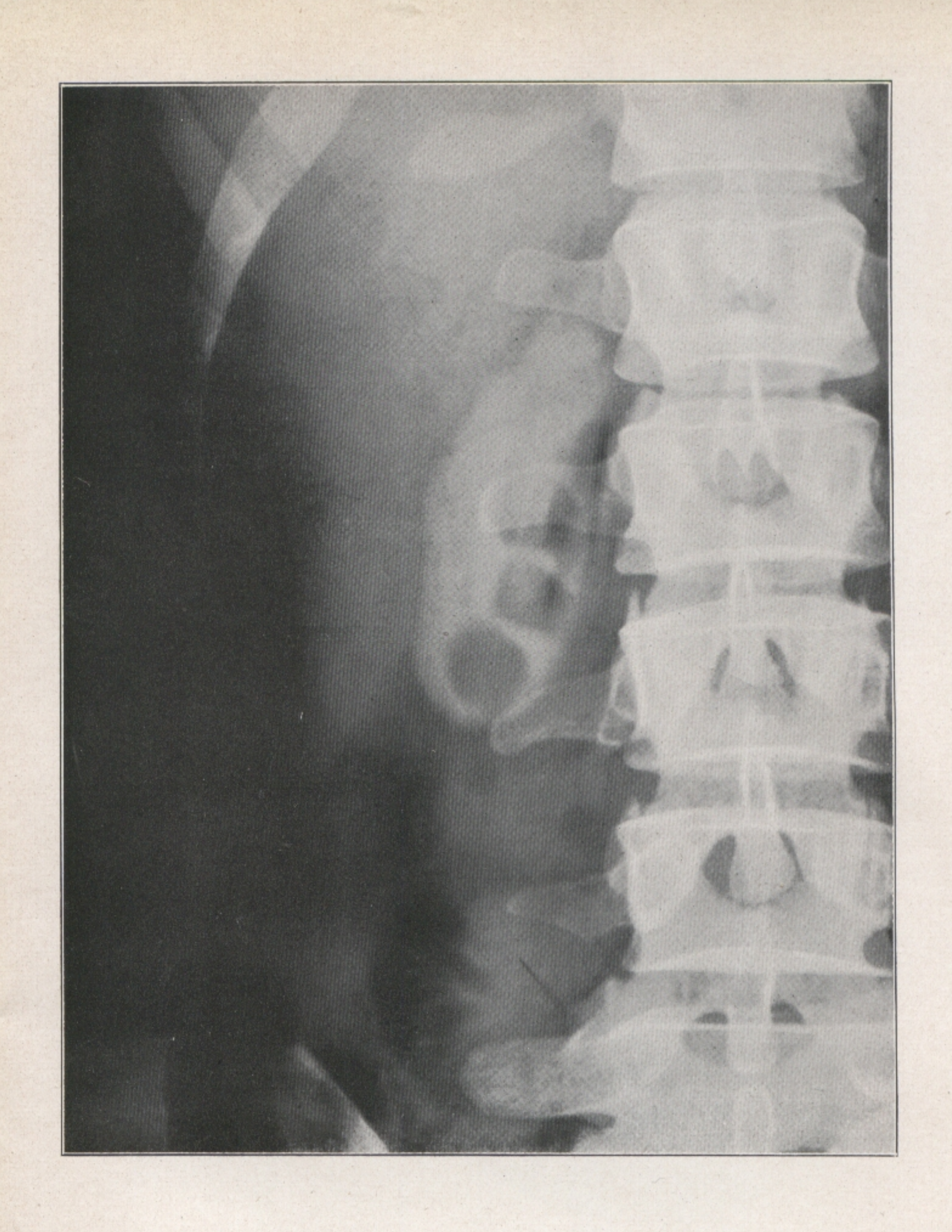
Die Kontrastmischung des Nierenbeckens ergibt horizontale Begrenzung nach abwärts, Fehlen des unteren Teiles des Nierenbeckens und unregelmäßige Kontrastinseln abwärts davon. Nierenzertrümmerung durch vorangegangene Huftrittverletzung der rechten Flanke.

Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm im Städt. Krankenhaus Friedrichshain, Berlin. Dirig. Arzt Dr. Max Cohn.



TAFEL XII.

Klinische Frage: Hydramnion oder Zwillingsschwangerschaft?
Bei der enormen Stärke der Patientin war nur seitliche Aufnahme möglich. Dieselbe zeigt einwandfrei 2 Wirbelsäulen und reichliche kleine Teile. Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm von Prof. Dr. Hänisch, Hamburg.



TAFEL XIII.

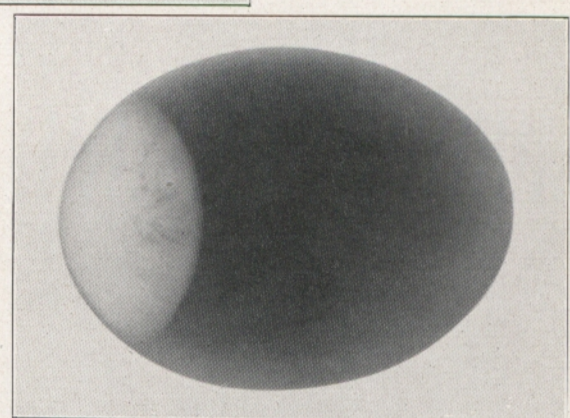
Gallensteine.

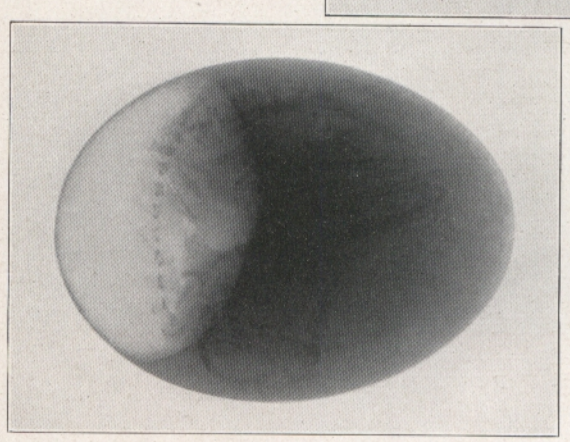
Aufgenommen auf Agfa-Röntgenfilm von Dr. Frik, Krankenhaus Moabit, Berlin.



a

b

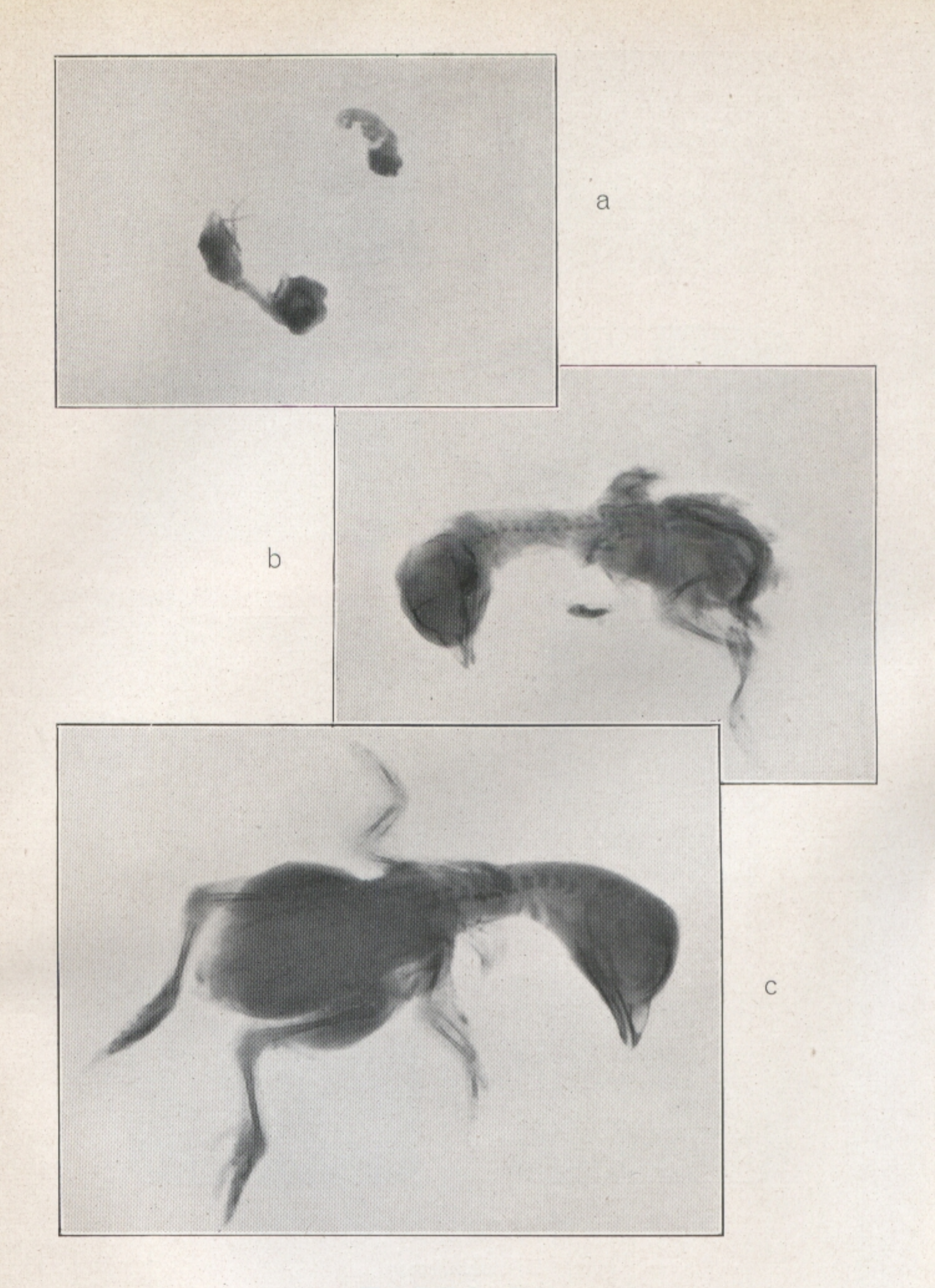




c

TAFEL XIV.

Brutvorgang im Hühnerei.
a) Ei nach 10 Tagen. b) Ei nach 15 Tagen.
c) Ei nach 18 Tagen.

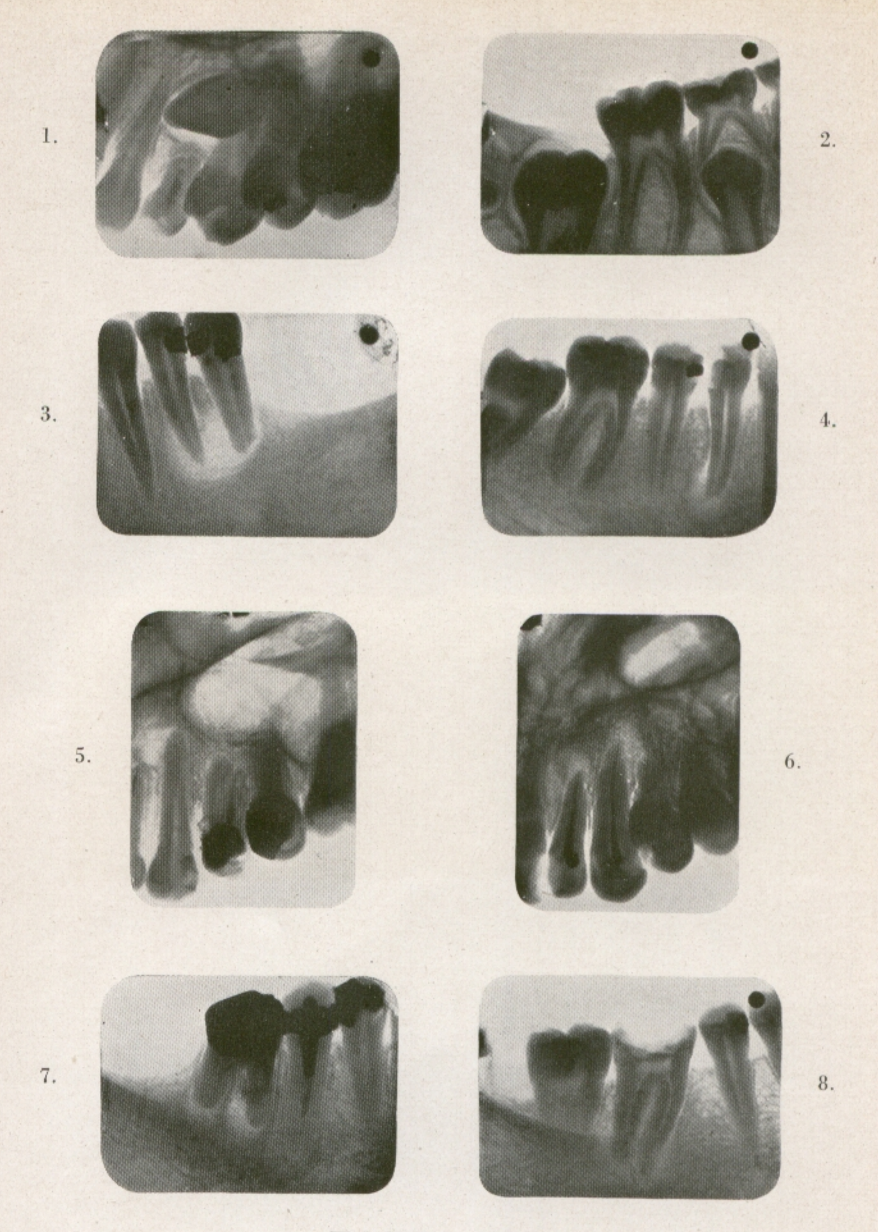


TAFEL XV.

Brutvorgang im Hühnerei.

a) Embryo nach 5 resp. 10 Tagen. b) Embryo nach 15 Tagen.

c) Embryo nach 18 Tagen.



TAFEL XVI.

Zahnaufnahmen.

1. Quer im Kiefer liegender Eckzahn.
2. Milchzahn mit darunter liegendem, bleibendem Zahn (Milchgebiß).

3.–5. Scharf begrenzte Aufhellungen an den Wurzelspitzen, radikuläre Cysten.

6.–8. Infektiöse Herde an den Wurzelspitzen.

Druckfehlerberichtigung.

Seite 28, Abb. 20, Unterschrift: Die ausgezogene Kurve ist die des doppelseitigen, die gestrichelte die des einseitigen Films.

Expositionstabelle

für Agfa-Röntgenfilms

(aus J. Eggert, Einführung in die Röntgenphotographie)

Objekt	Abstand in cm	Härte (Kilovolt)	Milli-ampère	Expositionszeit (Sekunden) ohne Folie	mit zwei Folien	mit zwei Folien und Buckyblende
	I	II	III	IV	V	VI
Schädel von vorn ..	60	53—55	20			3—4
,, seitlich	60	51—53	20			2—3
Wirbelsäule von vorn	60	52—58	20			3—5
,, seitlich .	60	55—60	20			5—8
Lunge	60	53—56	80—100		0,1—0,2	
Lunge, Herz (Fernaufn.)	150	53—57	250—280		0,2—0,3	
Magen	60	62—67	150		0,2—0,3	
Darm	60	62—67	150		0,2—0,3	
Niere, Blase	60	50—54	20			3—5
Becken	60	52—58	20			3—5
Knie, Unterschenkel	50	46—47	20	2,5—3,5		
Fußgelenk	50	45—46	20	2—2,5		
Fuß	50	43—45	20	1—2		
Zehen	50	43—45	20	0,5—1		
Schulter	50	48—52	20		0,4—0,6	
Ellbogen	50	45—46	20	1,5—2,5		
Unterarm	50	43—45	20	2—3		
Handgelenk	50	43—45	20	1—2		
Hand, Finger	50	43—44	20	0,5—1		
Zähne	25	41—42	20	0,1—0,2		

Vergleich verschiedener Maßstäbe für die Strahlenhärte

Kilovolt (effektiv)	39	40	43	49	60	70	80	90	100
Kugelfunkenstrecke (mm)	18,6	19,1	20,7	23,8	30	36	42	49	55
Funkenstrecke (Spitze—Platte) mm	50	60	70	90	120	150	180	210	240
Mittlere Wellenlänge (Å)	0,50	0,49	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
Wehnelt	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9

Regeln

für die

Röntgendunkelkammer

Kassetten und Folien sauber halten!

Film nicht knicken, Oberfläche nicht befassen!

Bei Folienaufnahmen den Film aus dem schwarzen Papier nehmen!

Richtiges Dunkelkammerlicht anwenden!

Entwicklertemperatur 18° C!

Kein Fixierbad in den Entwickler bringen und umgekehrt!

Film nach dem Entwickeln gut abspülen oder zwischenwässern!

Fixierbadtemperatur 18° C!

Film völlig ausfixieren, erst dann an weißem Licht besehen!

Film gut in fließendem Wasser auswässern!

Negativ staubfrei trocknen, nicht in der Sonne, an der Heizung oder mit dem Heißluftventilator!